



TUGAS AKHIR - RC14-1501

# **PAVING GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR *BOTTOM ASH DAN SUGAR CANE BAGASSE ASH* (SCBA)**

ACHMAD FREDDYA EKA PRASANDHA  
NRP 3112 106 023

Dosen Pembimbing :  
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA  
Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



TUGAS AKHIR - RC14-1501

**PAVING GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR  
*BOTTOM ASH* DAN *SUGAR CANE BAGASSE ASH*  
(SCBA)**

ACHMAD FREDDYA EKA PRASANDHA  
NRP 3112 106 023

Dosen Pembimbing :  
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA  
Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - RC14-1501

## **GEPOLYMER PAVING BASED BOTTOM ASH AND SUGAR CANE BAGASSE ASH (SCBA)**

ACHMAD FREDDYA EKA PRASANDHA  
NRP 3112 106 023

Supervisor :  
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA  
Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT.

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015



**FINAL PROJECT - RC14-1501**

## **GEPOLYMER PAVING BASED BOTTOM ASH AND SUGAR CANE BAGASSE ASH (SCBA)**

**ACHMAD FREDDYA EKA PRASANDHA**  
**NRP 3112 106 023**

Supervisor :  
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA  
Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT.

**CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT**  
**Faculty of Civil Engineering and Planning**  
**Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Surabaya 2015**

**PAVING GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR  
BOTTOM ASH DAN SUGAR CANE BAGASSE ASH**

**TUGAS AKHIR**

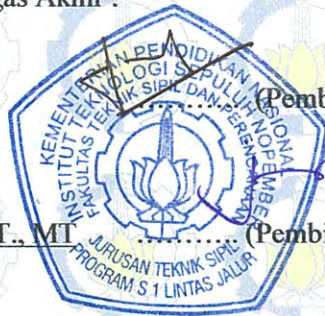
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Struktur  
Program Studi S-1 Lintas Jalur Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ACHMAD FREDDYA EKA PRASANDHA**  
NRP. 3112 106 023

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA  
NIP. 195103091974122001



(Pembimbing I)

Dr. Eng. Januarti J. Ekaputri, ST., MT  
NIP. 197401122005012001

(Pembimbing II)

**SURABAYA**  
**JUNI, 2015**

## **PAVING GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR *BOTTOM ASH* DAN *SUGAR CANE BAGASSE ASH (SCBA)***

Nama Mahasiswa : Achmad Freddy Eka Prasandha  
NRP : 3112106023  
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.  
Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT.

### **Abstrak**

*Penelitian ini terfokus pada pemanfaatan bottom ash sebagai bahan dasar pembuatan paving geopolimer. Selain itu digunakan SCBA (Sugar Cane Bagasse Ash) sebagai sumber silika aktif untuk menambah kandungan silika pada bottom ash. Agregat atau filler menggunakan abu batu, sedangkan untuk binder (pengikat) menggunakan larutan alkali aktifator.*

*Benda uji berupa balok paving dengan dimensi (20x10x8) cm. Mix design yang dipakai antara lain perbandingan berat agregat dengan pasta adalah 65:35, perbandingan berat bottom ash dengan alkali sebesar 65:35, alkali aktifator dibuat dengan perbandingan NaOH 14 M dengan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  sebesar 1:2.5, kemudian ditambah air 5/35 bagian dari berat alkali atau 8.33% dari berat bottom ash. Variabel berupa penambahan berat SCBA pada paving sebesar 0%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 35%.*

*Hasil dari analisa maksimal diperoleh pada paving dengan penambahan berat SCBA 0%, dengan hasil kuat tekan sebesar 11.60 MPa, ketahanan aus 1.050 mm/menit, dan resapan air sebesar 10.58%. Sehingga diperoleh kesimpulan akhir bahwa paving geopolimer tidak memenuhi persyaratan standar paving berdasarkan SNI 03-0691-1996. Tetapi memenuhi syarat untuk dijadikan bata sebagai pasangan dinding kelas I berdasarkan SNI 03-0349-1989.*

**Kata kunci** : alkali aktifator, *bottom ash*, Geopolimer, paving, SCBA





## **GEOPOLYMER PAVING BASED BOTTOM ASH AND SUGAR CANE BAGASSE ASH (SCBA)**

Name : Achmad Freddy Eka Prasandha  
NRP : 3112106023  
Major : Teknik Sipil FTSP-ITS  
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.  
Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT.

### **Abstrak**

*This research focused on utilization of bottom ash as the basic material that used for geopolymer paving. In addition to added SCBA (Sugar Cane Bagasse Ash) was applied as an active silica source for bottom ash. Stone ash were used as fillers. Alkaline activator was mixed with the binders and fillers to start geopolymer reaction.*

*The specimen was paving blocks with dimension of (20x10x8) cm. The weight ratio of aggregate to paste was 65:35. The weight ratio of bottom ash to alkaline was 65:35. NaOH 14 M and  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  were applied as an alkaline activator with ratio of 1:2.5. Additionally, the water was added of 5/35 parts from alkaline weight or 8.33% from the binder weight. SCBA weight was varied of 0%, 15%, 20%, 25%, 30% and 35% to replace the bottom ash weight.*

*The maximum paving was shown by the mixture with 0% SCBA with compressive strength was 11.60 MPa, abrasive strength was 1.050 mm/minute, and water absorption is 10.58%. So the final result is the geopolymer paving didn't appropriate the standard requirements of paving based SNI 03-0691-1996. It is appropriated for use as the brick for the wall set grade I based SNI 03-0349-1989.*

**Kata kunci** : alkaline activator, bottom ash, Geopolymer, paving, SCBA





## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Paving Geopolimer Berbahan Dasar *Bottom Ash* dan *Sugar Cane Bagasse Ash* (SCBA)” tepat pada waktunya. Dalam penyusunannya penulis banyak memperoleh banyak bantuan dari berbagai pihak, karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

- Kedua orang tua dan segenap keluarga besar penulis yang telah memberikan dukungan, kasih, dan kepercayaan yang begitu besar.
- Dosen pembimbing yang dengan sabar telah membimbing dan memberikan solusi ketika penulis mengalami kesulitan pada proses penulisan.
- Segenap Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Sipil ITS yang telah membantu penulis untuk proses pengurusan surat ijin.
- Teman-teman LBE Green Concrete yang telah memberikan semangat, dukungan, dan bantuan ketika penulis menghadapi permasalahan sehingga dapat menemukan solusi atas permasalahan yang dihadapi.

Pada Tugas Akhir ini tentunya tak luput dari kesalahan dan masih jauh dari kesempurnaan, namun penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Untuk itu kritik dan saran sangat diharapkan demi kesempurnaan. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat

Surabaya, Maret 2015

Penulis





## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xxii
DAFTAR LAMPIRAN	1
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	3
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Paving Blok	7
2.2 Geopolimer	7
2.2.1 Penelitian Sebelumnya	8
2.3 Bahan Dasar Paving Geopolimer	13
2.3.1 <i>Bottom Ash</i>	13
2.3.2 SCBA ( <i>Sugar Cane Bagasse Ash</i> )	14
2.3.3 Abu Batu	15
2.3.4 Larutan Alkali	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Umum	17
3.2 Studi Literatur	20
3.3 Persiapan Material	20
3.3.1 <i>Bottom Ash</i>	20
3.3.2 SCBA ( <i>Sugar Cane Bagasse Ash</i> )	21

2.3.1	<i>Bottom Ash</i> .....	13
3.3.3	Abu Batu.....	23
3.4	Analisa Material.....	24
3.4.1	Analisa <i>Bottom Ash</i> .....	24
3.4.2	Analisa SCBA ( <i>Sugar Cane bagasse Ash</i> ) .....	25
3.4.3	Analisa Abu Batu .....	25
3.4.3.1	Pengujian Berat Jenis Abu Batu (ASTM C128-78) .....	26
3.4.3.2	Pengujian Kadar Air Resapan Abu Batu (ASTM C128-93).....	28
3.4.3.3	Pengujian Kelembaban Abu Batu (ASTM C556-89).....	28
3.4.3.4	Pengujian Berat Volume Abu Batu (ASTM C29-91).....	29
3.4.3.5	Pengujian Kadar Lumpur dengan Pencucian atau Metode Penyaringan Basah (ASTM C117-95).....	30
3.4.3.6	Pengujian Kadar Lumpur dengan Cara Pengendapan (ASTM C33-86).....	31
3.4.3.7	Pengujian Kandungan Zat Organik Abu Batu (ASTM C40-92).....	32
3.4.3.8	Pengujian Analisa Saringan Abu Batu (ASTM C33-78) .....	33
3.5	Persiapan Bahan Paving Geopolimer.....	34
3.5.1	Larutan NaOH (Natrium hidroksida).....	34
3.5.2	Sodium Silikat ( <i>Water Glass</i> ) .....	36
3.5.3	Aquades (Air Suling).....	37
3.6	Pembuatan Larutan Alkali.....	37
3.7	<i>Mix Design</i> Paving Geopolimer.....	38
3.8	Prosedur Pembuatan Benda Uji Paving Geopolimer ..	40
3.9	Prosedur <i>Curing</i> dan <i>Storage</i> Paving Geopolimer .....	42
3.10	Pengujian Mekanis Paving Geopolimer.....	42
3.10.1	Pengujian Berat Volume Paving Geopolimer (ASTM C138-77).....	43



3.10.2	Pengujian Kuat Tekan Paving Geopolimer (ASTM C39-94) Serta (SNI 03-0691-1996 dan BS 6717).....	43
3.10.3	Cek Kovarian Untuk kontrol Kualitas .....	45
3.10.4	Pengujian Ketahanan Aus Paving Geopolimer (SNI 03-0691-1996) .....	47
3.10.5	Pengujian Resapan Air Paving Geopolimer..	48
3.11	Analisa Uji XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ).....	48
3.12	Analisa Reaktivitas Bottom Ash (ASTM C593-95) ..	49
3.13	Analisa Pengujian TCLP Paving Geopolimer .....	53
3.14	Analisa Kesesuaian Hasil Uji dengan Peraturan.....	53
3.15	Analisa Hasil Penelitian .....	53
3.16	Kesimpulan.....	54
BAB IV ANALISA DATA DAN HASIL PENGUJIAN ..		55
4.1	Umum.....	55
4.2	Analisa Material.....	55
4.2.1	Analisa <i>Bottom Ash</i> .....	56
4.2.1.1	Analisa Berat Jenis <i>Bottom Ash</i> .....	56
4.2.1.2	Analisa XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) <i>Bottom Ash</i>	56
4.2.1.3	Analisa XRF ( <i>X-Ray Fluorescence</i> ) <i>Bottom Ash</i> .....	60
4.2.3.7	Analisa SEM ( <i>Scanning Electron Macroscopy</i> ) <i>Bottom Ash</i> .....	61
4.2.2	Analisa SCBA ( <i>Sugar Cane Bagasse Ash</i> ).....	64
4.2.2.1	Analisa Berat Jenis SCBA ( <i>Sugar Cane Bagasse Ash</i> ).....	64
4.2.2.2	Analisa XRD SCBA .....	64
4.2.2.3	Analisa XRF SCBA.....	76
4.2.2.4	Analisa SEM SCBA .....	77
4.2.3	Analisa Abu Batu .....	81
4.2.3.1	Analisa Berat Jenis Abu Batu (ASTM C128-78) .....	81
4.2.3.2	Analisa Resapan Air Abu Batu (ASTM C128-93) .....	81

4.2.3.3	Analisa Kelembaban Abu Batu (ASTM C556-89)	82
4.2.3.4	Analisa Berat Volume Abu Batu (ASTM 29-91)	82
4.2.3.5	Analisa Kadar Lumpur Abu Batu dengan Pencucian (ASTM C117-95)	83
4.2.3.6	Analisa Kadar Lumpur Abu Batu dengan Pengendapan (ASTM C33-86)	84
4.2.3.7	Analisa Kebersihan Kandungan Zat Organik Abu Batu (ASTM C40-92)	84
4.2.3.8	Analisa Gradasi Abu Batu (ASTM C33-78) dan (BS 882-1973)	85
4.2.3.9	Analisa XRD Abu Batu	87
4.2.3.1	Analisa SEM Abu Batu	90
4.3	<i>Trial Mix</i> Paving Geopolimer	92
4.3.1	Karakterisasi Penggunaan Larutan NaOH pada Paving Geopolimer	92
4.3.2	Karakterisasi Penambahan Air Pada Larutan Alkali dengan <i>Bottom Ash</i> Yang Tercampur Ter	93
4.3.3	Pembuatan Benda Uji Dengan Perbandingan Agregat dan Pasta adalah 70:30 dengan <i>Bottom Ash</i> yang Tercampur Ter	94
4.4	Data dan Analisa Hasil Uji Paving Geopolimer	95
4.4.1	Komposisi Paving Geopolimer	95
4.4.2	Pembuatan Benda Uji Paving Geopolimer	97
4.4.3	<i>Curing</i> dan <i>Storage</i> Paving Geopolimer	98
4.5	Analisa Hasil Pengujian Paving Geopolimer	98
4.5.1	Analisa Berat volume Paving Geopolimer	99
4.5.2	Analisa Uji Kuat Tekan Paving Geopolimer	101
4.5.2.1	Analisa Mortar Geopolimer Berbahan Dasar <i>Fly Ash</i> PT Petrokimia	107
4.5.2.2	Analisa Karakterisasi Suhu Kalsinasi SCBA pada Campuran Mortar Geopolimer Terhadap Kuat Tekan	113
4.5.3	Analisa Pengujian ketahanan Aus Paving Geopolimer	116

4.5.4	Analisa Hubungan Ketahanan Aus Terhadap kuat Tekan Paving Geopolimer .....	119
4.5.5	Analisa Pengujian Resapan Air pada Paving Geopolimer .....	120
4.5.6	Pengaruh Resapan Air terhadap Kuat Tekan pada Paving Geopolimer .....	123
4.6	Kesesuaian Paving Geopolimer terhadap SNI 03-0691-1996 dan SNI 03-0349-1989 .....	124
4.7	Analisa Hasil Pengujian Reaktivitas <i>Bottom Ash</i> .....	126
4.8	Analisa Hasil Pengujian Reaktivitas Campuran Paving Geopolimer .....	127
4.9	Koreksi Pengujian Paving dengan Penggunaan Mesin cetak Paving Otomatis .....	128
4.9.1	Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving Cetak dengan Mesin Otomatis .....	131
4.9.2	Hasil Pengujian Ketahanan Aus Paving Cetak dengan Mesin Otomatis .....	132
4.9.3	Hasil Pengujian resapan Air Paving Cetak dengan Mesin Otomatis .....	132
4.9.4	Hubungan Pengujian Kuat Tekan Paving Cetak dengan Mesin dibandingkan dengan Paving Hasil Cetak Manual .....	132
4.9.5	Hasil Pengujian Kadar SiO <sub>2</sub> Reaktif SCBA yang Dikalsinasi pada Suhu 850°C dalam waktu 7 Jam ...	133
4.9.6	Hasil Pengujian TCLP ( <i>Toxicity Characteristic Leaching Procedure</i> ) .....	134
BAB V PENUTUP .....		137
5.1	Kesimpulan .....	137
5.2	Saran .....	139
DAFTAR PUSTAKA .....		xxiv
LAMPIRAN .....		xxvii
BIODATA PENULIS .....		xlii





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian Paving Geopolimer .	19
Gambar 3.2	<i>Bottom Ash</i> Sebelum Dihaluskan a) <i>Bottom Ash</i> dengan Ter b) <i>Bottom Ash</i> Tanpa Ter .....	20
Gambar 3.3	<i>Bottom Ash</i> Setelah dihaluskan dengan Mesin <i>Bond Mill</i> a) dengan Ter b) Tanpa Ter .....	21
Gambar 3.4	SCBA a) Sebelum dan b) Sesudah Dikalsinasi dengan Mesin <i>Furnace</i> .....	22
Gambar 3.5	Mesin <i>Furnace</i> pada Suhu 850° C 7 Jam..	23
Gambar 3.6	Grafik Historis <i>Setting</i> Suhu dan Waktu rencana <i>Furnace</i> .....	23
Gambar 3.7	Abu Batu Sebagai <i>Filler</i> .....	24
Gambar 3.8	Labu Ukur Pada Pengujian Berat Jenis Abu Batu .....	27
Gambar 3.9	Set Ayakan Berdasarkan ASTM C33 .....	33
Gambar 3.10	Pembuatan Larutan NaOH .....	35
Gambar 3.11	Sodium Silikat.....	37
Gambar 3.12	Material Paving Geopolimer a) Alkali aktifator b) SCBA c) <i>Bottom Ash</i> d) Abu Batu.....	41
Gambar 3.13	Paving Sisi Blok Datar dan Blok <i>Chamfer</i> .....	45
Gambar 3.14	Alat Penguji XRD ( <i>X-ray Diffraction</i> ).....	49
Gambar 3.15	Material uji reaktivitas .....	50
Gambar 3.16	Perojokan Uji Reaktivitas .....	51
Gambar 3.17	<i>Curing</i> Mortar Uji Reaktivitas.....	52
Gambar 3.18	Perendaman Mortar Uji Reaktivitas .....	52
Gambar 4.1	Grafik Analisa XRD <i>Bottom Ash</i> dengan campuran Ter .....	58
Gambar 4.2	Grafik Analisa XRD <i>Bottom Ash</i> Tanpa Campuran Ter .....	59
Gambar 4.3	Hasil Pengujian SEM <i>Bottom Ash</i> dengan Campuran Ter .....	61
Gambar 4.4	Hasil Pengujian SEM <i>Bottom Ash</i> Tanpa Campuran Ter .....	62

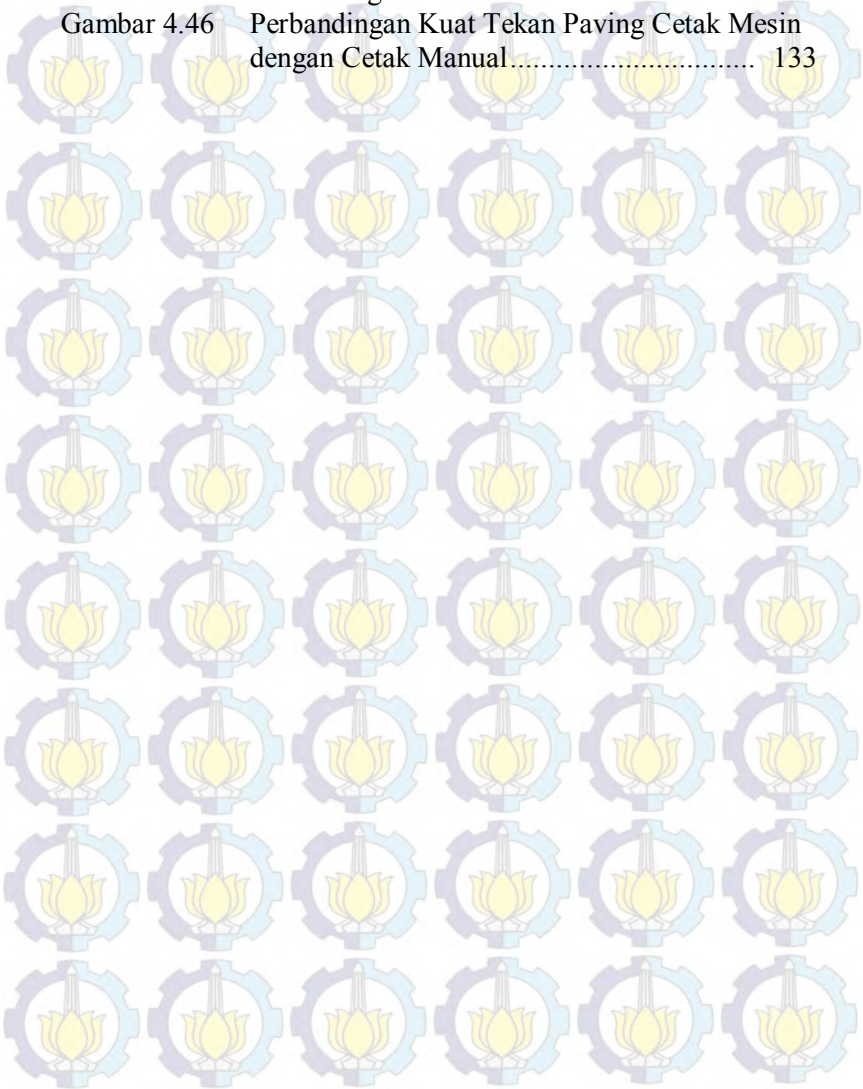


Gambar 4.5	Perbandingan Mineral Penyusun Material dengan Pengujian SEM a) <i>Cement powder</i> b) <i>Bottom Ash</i> Tanpa Ter.....	63
Gambar 4.6	Grafik Analisa XRD SCBA Sebelum Dikalsinasi dengan <i>Furnace</i> .....	65
Gambar 4.7	Grafik Analisa XRD SCBA dengan Suhu 450°C Selama 6 Jam.....	68
Gambar 4.8	Grafik Analisa XRD SCBA dengan Suhu 600°C Selama 3 Jam.....	69
Gambar 4.9	Grafik Analisa XRD SCBA dengan Suhu 850°C Selama 3Jam.....	70
Gambar 4.10	Grafik Analisa XRD SCBA dengan Suhu 850°C Selama 7 Jam.....	71
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Analisa XRD Suhu Pembakaran SCBA.....	72
Gambar 4.12	Grafik Penurunan Suhu (Derivative) pada Material SCBA.....	74
Gambar 4.13	Grafik Hasil Analisa Pengujian TGA SCBA ( <i>Weight &amp; Heatflow</i> ) .....	75
Gambar 4.14	Hasil Analisa SEM SCBA Sebelum Dikalsinasi dengan <i>Furnace</i> .....	77
Gambar 4.15	Hasil Analisa SEM SCBA Setelah Dikalsinasi Pada Suhu 850°C selama 7 Jam.....	78
Gambar 4.16	SEM SCBA yang Dikalsinasi pada Suhu a) 850°C Selama 7 Jam dan b) 800°C .....	79
Gambar 4.17	Visualisasi Hasil Kalsinasi SCBA pada Suhu a) 450°C 6 Jam b) 600°C 3 Jam c) 850°C 3 Jam dan d) 850° 7 Jam.....	80
Gambar 4.18	Grafik Analisa Gradasi Abu Batu ASTM ..	86
Gambar 4.19	Grafik Hasil Analisa XRD Abu Batu....	89
Gambar 4.20	Analisa SEM Abu Batu.....	90
Gambar 4.21	Perbandingan Mineral Albite pada a) <i>Leached Soil</i> b) Abu Batu.....	91
Gambar 4.22	Bagan Komposisi Paving Geopolimer..	96

Gambar 4.23	<i>Curing dan Storage</i> Paving geopolimer .....	98
Gambar 4.24	Grafik Berat Volume Paving Geopolimer ..	100
Gambar 4.25	Grafik Uji Tekan Paving Umur 28 Hari.....	104
Gambar 4.26	Grafik Uji Tekan Paving Umur 21 Hari .....	104
Gambar 4.27	Grafik Uji Tekan Paving Umur 14 Hari.....	105
Gambar 4.28	Grafik Uji Tekan Paving Umur 7 hari .....	105
Gambar 4.29	Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Paving Tiap Variasi SCBA.....	106
Gambar 4.30	Mortar Geopolimer Berbahan <i>Fly Ash</i> .....	108
Gambar 4.31	Mortar Geopolimer Berbahan <i>Bottom Ash</i> ..	108
Gambar 4.32	Perbandingan Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar <i>Fly Ash</i> PT Petrokimia dengan <i>Bottom Ash</i> PT Kasmaji pada Umur 7 Hari .....	111
Gambar 4.33	Grafik Uji Tekan Mortar Fly Ash pada Umur 28 Hari.....	112
Gambar 4.34	Perbandingan Kuat Tekan Mortar Geopolimer pada Umur 7 Hari Untuk Setiap Suhu Kalsinasi SCBA .....	116
Gambar 4.35	Grafik Ketahanan Aus Paving Geopolimer .....	119
Gambar 4.36	Grafik Hubungan Ketahanan Aus Paving dengan Kuat Tekan .....	120
Gambar 4.37	Grafik Hasil Uji Resapan Air Paving.....	122
Gambar 4.38	Pengaruh Resapan Air Terhadap Kuat Tekan Paving.....	123
Gambar 4.39	Hasil Uji Reaktivitas <i>Bottom Ash</i> .....	126
Gambar 4.40	Uji Reaktivitas Material Campuran Paving Geopolimer .....	127
Gambar 4.41	Perbandingan Reaktivitas Material Bottom Ash Kering dan Bottom Ash Basah .....	128
Gambar 4.42	Pengadukan Campuran Manual .....	129
Gambar 4.43	Pengadukan Campuran dengan Mesin .....	129
Gambar 4.44	Distribusi Campuran pada Penggunaan Mesin Cetak Otomatis .....	130

Gambar 4.45    a) Mesin Cetak Paving Otomatis b) Paving Hasil  
Cetak dengan Mesin Otomatis ..... 130

Gambar 4.46    Perbandingan Kuat Tekan Paving Cetak Mesin  
dengan Cetak Manual ..... 133





## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Sifat Kimia Bottom Ash dan Bahan Penyusun Semen .....	14
Tabel 3.1	Komposisi kebutuhan Material untuk Sekali Pengadukan Paving Geopolimer (9500 gram) ..	39
Tabel 3.2	Komposisi Kebutuhan Material tiap 1 m <sup>3</sup> Paving Geopolimer .....	40
Tabel 3.3	Komposisi Kebutuhan Material Paving Geopolimer dalam Persen .....	40
Tabel 3.4	Nilai Faktor Koreksi Tebal dan Luasan Paving	45
Tabel 3.5	Kontrol Kualitas Beton (SNI 03-6813-2002) ..	46
Tabel 4.1	Berat jenis <i>Bottom Ash</i> .....	56
Tabel 4.2	Analisa XRD <i>Bottom Ash</i> dengan Campuran Ter .	56
Tabel 4.3	Analisa XRD <i>Bottom Ash</i> Tanpa Campuran Ter .	57
Tabel 4.4	Analisa XRF <i>Bottom Ash</i> Tanpa Campuran Ter ...	60
Tabel 4.5	Berat Jenis SCBA setelah Dikalsinasi 850°C Selama 7 Jam .....	64
Tabel 4.6	Kalsinasi SCBA Pada Suhu 450°C Selama 6 Jam	65
Tabel 4.7	Kalsinasi SCBA Pada Suhu 600°C Selama 3 Jam	65
Tabel 4.8	Kalsinasi SCBA Pada Suhu 850°C Selama 3 Jam	65
Tabel 4.9	Kalsinasi SCBA Pada Suhu 850°C Selama 7 Jam	65
Tabel 4.10	SCBA Sebelum Dilakukan Kalsinasi .....	66
Tabel 4.11	Analisa XRF SCBA Dikalsinasi 850° 7 Jam ...	76
Tabel 4.12	Analisa Berat Jenis Abu Batu .....	81
Tabel 4.13	Analisa Kadar Air Resapan Abu Batu .....	81
Tabel 4.14	Analisa Kelembaban Abu Batu .....	82
Tabel 4.15	Analisa Berat Volume Abu Batu .....	83
Tabel 4.16	Analisa Kadar Lumpur Abu Batu dengan Pencucian (ASTM C117-95) .....	83
Tabel 4.17	Analisa Kadar Lumpur Abu Batu dengan Metode Pengendapan (ASTM C33-86) .....	84
Tabel 4.18	Analisa Kebersihan kandungan Zat Organik Dalam Abu Batu .....	84
Tabel 4.19	Analisa Gradasi Abu Batu .....	86

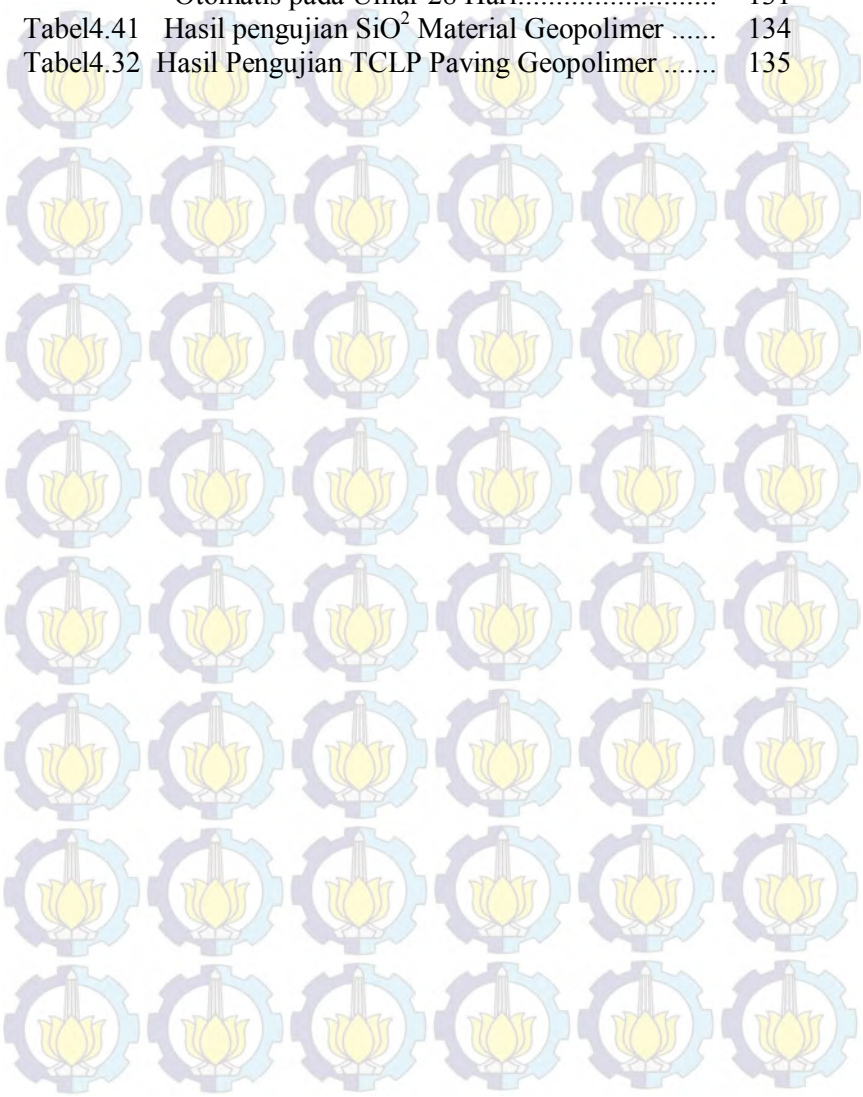
Tabel4.20	Analisa XRD Abu Batu .....	87
Tabel4.21	Kuat Tekan Trial Paving dengan Perbedaan Molaritas .....	92
Tabel4.22	Kuat Tekan Trial Paving dengan Variasi Penambahan Air pada Larutan Alkali.....	94
Tabel4.23	Kuat Tekan Trial Paving dengan Perbandingan Berat Agregat dengan Pasta Sebesar 70:30.....	95
Tabel4.24	Komposisi Kebutuhan Material Tiap 1 m <sup>3</sup> Paving Geopolimer .....	97
Tabel4.25	Analisa berat Volume Paving Geopolimer .....	99
Tabel4.26	Kontrol Kualitas Beton SNI 03-6813-2002 .....	101
Tabel4.27	Hasil Pengujian Kuat tekan paving geopolimer .....	102
Tabel4.28	Komposisi Mortar Geopolimer .....	109
Tabel4.29	Hasil Uji Kuat Tekan Mortar Paving <i>Fly Ash</i> PT. Petrokimia.....	109
Tabel4.30	Hasil Uji Kuat Tekan Mortar Paving <i>bottom Ash</i> PT. Kasmaji.....	110
Tabel4.31	Hasil Uji Kuat Tekan Mortar Berbahan <i>fly ash</i> Umur 28 hari.....	112
Tabel4.32	Hasil Uji Kuat Tekan Mortar dengan SCBA yang Dikalsinasi Suhu 450°C Selama 6 Jam .....	113
Tabel4.33	Hasil Uji Kuat Tekan Mortar dengan SCBA yang Dikalsinasi Suhu 600°C Selama 3 Jam .....	114
Tabel4.34	Hasil Uji Kuat Tekan Mortar dengan SCBA yang Dikalsinasi Suhu 850°C Selama 3 Jam .....	114
Tabel4.35	Hasil Uji Kuat Tekan Mortar dengan SCBA yang Dikalsinasi Suhu 850°C Selama 7 Jam .....	115
Tabel4.36	Hasil Pengujian Ketahanan Aus Paving Geopolimer .....	117
Tabel4.37	Hasil Pengujian Resapan Air Paving Geopolimer .....	121
Tabel4.38	Kesesuaian Paving Geopolimer dengan SNI 03-0691-1996.....	125
Tabel4.39	Kesesuaian Paving Geopolimer dengan SNI 03-0349-1989.....	125



Tabel4.40 Hasil Uji Kuat Tekan Paving Cetak dengan Mesin Otomatis pada Umur 28 Hari..... 131

Tabel4.41 Hasil pengujian SiO<sup>2</sup> Material Geopolimer ..... 134

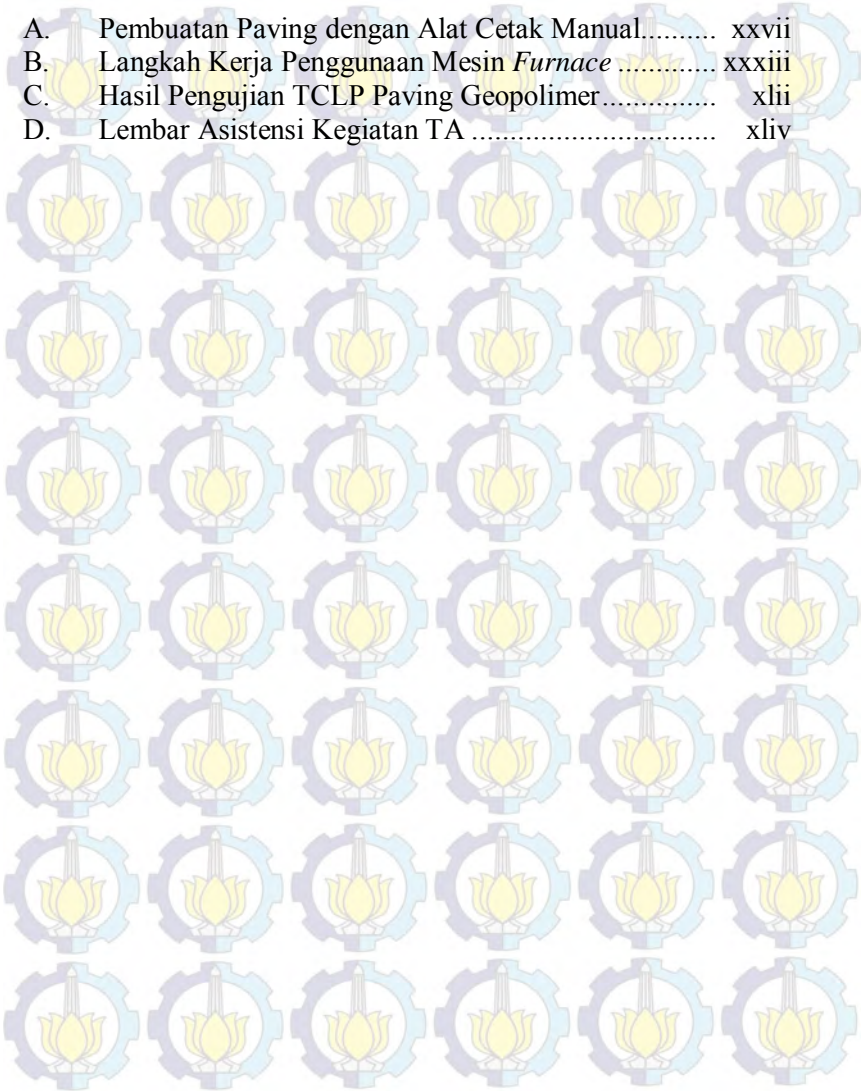
Tabel4.32 Hasil Pengujian TCLP Paving Geopolimer ..... 135





## DAFTAR LAMPIRAN

A.	Pembuatan Paving dengan Alat Cetak Manual.....	xxvii
B.	Langkah Kerja Penggunaan Mesin <i>Furnace</i> .....	xxxiii
C.	Hasil Pengujian TCLP Paving Geopolimer.....	xlii
D.	Lembar Asistensi Kegiatan TA .....	xliv



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Paving merupakan salah satu produk bahan bangunan yang cukup marak dipergunakan dewasa ini. Di samping harganya yang relatif murah dibandingkan lapis perkerasan lain seperti aspal ataupun beton, paving juga cukup memiliki banyak kelebihan baik dari segi kekuatan, kemudahan dalam proses pembuatan, maupun pelaksanaan di lapangan. Bentuk dan ukuran paving juga dapat didesain dengan mudah sesuai dengan fungsi dan penggunaannya. Pada umumnya paving dapat digunakan untuk perkerasan jalan, trotoar, tempat parkir, taman, dan jalan di lingkungan perumahan. Penggunaan paving sangatlah mendukung *go green* yang telah dikumandangkan secara nasional maupun internasional, karena daya serap air melalui pemasangan paving dapat menjaga keseimbangan air tanah (Adibroto, 2014).

Pada penelitian kali ini akan dibahas tentang pembuatan paving geopolimer berbahan dasar *bottom ash*. Seperti yang telah diketahui sebelumnya *bottom ash* merupakan limbah hasil pembakaran batu bara yang masih jarang dimanfaatkan dibandingkan dengan *fly ash* sehingga lebih banyak ditimbun. Seperti halnya pada *fly ash*, *bottom ash* yang ditimbun dalam tanah juga akan mengakibatkan kandungan zat kimia menyebar melalui media air dan udara sehingga mengakibatkan permasalahan lingkungan (Ekaputri dkk, 2012). Tidak lain halnya dengan *Fly ash* yang dapat digunakan sebagai bahan campuran substitusi semen karena memiliki keunggulan daya lekat yang kuat karena mengandung silika dan alumina dengan kadar kapur yang rendah (Priadana dkk, 2012) *Bottom ash* memiliki ukuran partikel yang lebih besar dan lebih berat dibandingkan dengan *fly ash* (Soehardjono, 2013), selain itu kandungan Si (silika) dan Al



(Alumina) pada *bottom ash* kurang begitu reaktif apabila dibandingkan dengan *fly ash*, sehingga dalam penelitian ini digunakan sebagai bahan bangunan non struktural seperti paving (Wijaya dkk, 2014).

Paving geopolimer sendiri dibuat dengan tanpa menggunakan semen sama sekali. Bahan yang digunakan sebagai pengikat adalah larutan alkali aktifator yang terdiri dari larutan NaOH (Sodium hidroksida) dengan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (Sodium silikat). Menurut Manuahe dkk. (2014), NaOH berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *bottom ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat, sedangkan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  Sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Larutan alkali aktifator dibuat dengan perbandingan tertentu akan mempengaruhi sifat mekanik dari beton geopolimer (Risdanareni dkk, 2015). Penelitian sebelumnya menyebutkan Material dasar pembentuk pasta geopolimer adalah sumber *pozzoland* yang mengandung silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang diaktivasi dengan alkali sehingga dapat digunakan sebagai binder atau pengikat. Material tersebut di antaralain *fly ash*, metakaolin, abu vulkanik dan abu sekam (Davidovits, 2008 dalam Ekaputri dan Triwulan 2013).

Selain itu juga digunakan SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*) untuk menambah sumber silika aktif dikarenakan material *bottom ash* memiliki kadar silika dan alumina yang kurang amorf dibandingkan dengan *fly ash*. SCBA (*Sugarcane Bagasse Ash*) sendiri dihasilkan dari pembakaran ampas tebu pada pabrik gula maupun etanol. SCBA memiliki kandungan utama berupa silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan material karbon (Govindarajan dan jayalakshmi, 2011). SCBA tersebut merupakan limbah yang dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan karena jarang dimanfaatkan (Sivakumar dkk, 2013). sebelum dipergunakan sebagai bahan tambah pada paving geopolimer SCBA dikalsinasi terlebih dahulu dengan mesin *furnace*. Menurut Rompas dkk (2013), Abu ampas tebu yang dipakai harus dibakar kembali



dengan suhu pembakaran lebih dari  $600^{\circ}\text{C}$  sehingga abu ampas tebu mengalami perubahan warna dari yang semula berwarna hitam karena masih mengandung karbon berubah warna menjadi cokelat agak kemerahan, dimana dalam keadaan ini abu ampas tebu memiliki kandungan silikat yang tinggi. Penelitian selanjutnya menyebutkan bahwa, pada 10 mg pemeriksaan dengan peralatan SEM (*Scanning Electron Microscopy*), abu ampas tebu yang dibakar dengan peralatan *furnace* pada temperatur  $700^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam, selanjutnya material dibiarkan dingin selama 24 jam, mengandung silika sebesar 53,2 % melebihi kadar silika yang ada pada semen *portland* yaitu sebesar 32 % (Yusnar, 2013).

Sedangkan untuk *filler* atau pengisi pada paving geopolimer menggunakan material berupa abu batu, menurut Sutarno (2007) bahwa Saat ini abu batu tidak begitu laku untuk dijual karena pemakaian dalam industri konstruksi sudah sangat sedikit mengingat konstruksi perkerasan jalan sudah banyak beralih ke lapisan aspal beton, sehingga perlu untuk diupayakan pemanfaatan sebagai campuran pembuatan paving.

## 1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

- 1) Apakah paving yang dihasilkan sesuai dengan persyaratan berdasarkan SNI 03-0691-1996 tentang bata beton atau SNI 03-0349-1989 tentang bata untuk pasangan dinding jika ditinjau dari karakteristik mekanik berupa uji kuat tekan, keausan dan resapan air ?
- 2) Berapa berat abu ampas tebu atau SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*) ( dalam % ) yang tepat sebagai

bahan tambah yang digunakan dalam campuran pembuatan paving ditinjau dari karakteristik mekaniknya ?

- 3) Bagaimana karakteristik mekanik berupa hasil uji kuat tekan pada paving atau mortar dan uji reaktivitas dengan bahan dasar *bottom ash* apabila dilakukan komparasi dengan *replacement* menggunakan material dasar berupa *fly ash*.
- 4) Bagaimana karakteristik penggunaan SCBA dengan dikalsinasi pada beberapa suhu 850°C selama 3 dan 7 jam, suhu 600°C selama 3 jam, dan selama 450°C selama 6 jam pada paving atau mortar yang dibuat?

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dibatasi oleh beberapa batasan agar lebih terarah antara lain sebagai berikut :

- 1) Metode pengujian mekanis paving berpedoman pada SNI 03-0691-1996 Bata beton (*paving block*).
- 2) Aktifator yang digunakan adalah NaOH flake yang dibeli di toko kimia yang kemudian diencerkan menjadi larutan NaOH 14 M dan Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) tipe BE 58 dari PT Kasmaji Inti Utama.
- 3) Dalam penelitian ini tidak di bahas mengenai reaksi dan analisis kimia dari larutan alkali aktifator berupa Sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Natrium hidroksida (NaOH) sebagai pengikat (binder).
- 4) SCBA diperoleh dari PG. Gempol Krep Sidoarjo kemudian dilakukan pengabuan dengan cara dikalsinasi dengan mesin *furnace* pada suhu  $\pm 850^\circ\text{C}$  dalam waktu 7 jam di workshop struktur Jurusan Teknik Sipil ITS.

- 5) *Bottom ash* diperoleh dari limbah industri PT. Kasmaji Inti Utama Mojokerto, kemudian dihaluskan dengan *bond mill*.
- 6) penggunaan abu ampas tebu atau SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*) dengan berat 0%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 35% terhadap berat *bottom ash*.
- 7) *Mix design* yang dilakukan sesuai pada penelitian sebelumnya pada mortar geopolimer (Wijaya,2014) yaitu *mix design B*.
- 8) Proses cetak paving geopolimer dilakukan secara manual menggunakan tenaga manusia.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk beberapa hal, antar alain :

- 1) Mengetahui karakteristik fisik dan kimia yang digunakan pada material yang digunakan pada paving geopolimer antara lain, *bottom ash*, SCBA, dan abu batu.
- 2) Mengetahui kadar optimum penambahan berat SCBA pada paving geopolimer terhadap karakteristik mekaniknya.
- 3) Mengetahui karakteristik mekanik berupa hasil uji kuat tekan, ketahanan aus dan resapan air pada paving geopolimer.
- 4) Melakukan penelitian pembandingan atau konfirmasi terhadap hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan secara industri.
- 5) Mengetahui kualitas bahan dasar paving sebagai tolak ukur penggunaan material tersebut pada penelitian selanjutnya.



### 1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan dapat memperoleh manfaat yaitu :

- 1) Memanfaatkan kembali limbah industri yang tidak terpakai dan mencemari lingkungan menjadi produk bahan bangunan berstandar yang diharapkan memiliki kualitas untuk di produksi.
- 2) Mengurangi emisi CO<sub>2</sub> yang diakibatkan oleh penggunaan semen *portland* dengan penggunaan material geopolimer.
- 3) Mengembangkan dan melanjutkan penelitian sebelumnya tentang “Mortar Geopolimer dari *Coal Ash* Limbah pabrik untuk Bahan Dasar Paving dan Bata” (Wijaya, 2014).
- 4) Menambah wawasan mengenai bahan alternatif pembuatan paving ramah lingkungan dengan pemanfaatan limbah industri berbasis geopolimer.
- 5) Penelitian ini dapat dijadikan bahan referensi atau rujukan dalam pembuatan paving geopolimer dalam skala industri ataupun penelitian selanjutnya.



## BAB II

### STUDI PUSTAKA

#### 2.1 Paving Blok

Secara umum paving blok merupakan produk bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *portland* atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan lainnya yang digunakan sebagai salah satu alternatif penutup atau pengerasan permukaan tanah. Paving blok dikenal juga dengan sebutan bata beton (*concrete block*). Di antara berbagai macam alternatif penutup permukaan tanah, paving blok lebih memiliki banyak variasi baik dari segi bentuk, ukuran, warna, corak dan tekstur permukaan serta kekuatan (Nurzal dan Mahmud, 2013). Penggunaan paving blok juga dapat divariasikan dengan jenis paving atau bahan bangunan penutup tanah lainnya.

Biasanya paving blok dibuat dengan cara cetak manual maupun dicetak dengan mesin pres otomatis. Penampakan antara paving blok yang diproduksi dengan cara manual dan paving blok pres mesin secara kasat mata relatif hampir sama, akan tetapi menurut Sebayang dkk. (2011), mutu kuat tekan yang dihasilkan oleh industri paving dengan mesin otomatis lebih stabil nilai kuat tekannya dibandingkan dengan buatan industri manual untuk setiap hasil cetakan yang dibuat. Adibroto (2014) juga menyebutkan bahwa pada umumnya paving blok yang diproduksi dengan peralatan mekanis memiliki mutu yang lebih tinggi daripada dengan cara lainnya.

#### 2.2 Geopolimer

Geopolimer adalah material polimer inorganik yang terbentuk dengan mengaktivasi berbagai mineral silika dan alumina dengan alkali atau larutan alkali silikat pada suhu lingkungan (Gosh, Kushal dan Partha, 2012). Geopolimer pertama kali ditemukan oleh Joseph Davidovits pada tahun 1978.

Selanjutnya geopolimer juga sering disebut geopolimer anorganik (*inorganic geopolymer*) berkembang sangat pesat sebagai material teknik yang unik dan penting didalam industri produk bahan bangunan maupun konstruksi jalan raya yang berwawasan lingkungan (Duxson dkk, 2007 dalam Bayuseno dkk, 2010). Beton Geopolimer adalah jenis beton yang 100 % tidak menggunakan semen. *Fly ash* dari hasil pembakaran batu bara digunakan sebagai sumber material untuk membuat binder yang dibutuhkan dalam campuran beton (Ekaputri, 2007). Material utamanya mengandung banyak silika dan alumina tinggi yang direaksikan dengan alkali aktifator. Proses pembentukan beton geopolimer terbentuk melalui proses polimerisasi bahan yang mengandung silikat dan alumina tinggi yang direaksikan dengan menggunakan alkali aktifator (*polysilicate*) menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Dengan ikatan polimer ini maka akan terbentuk padatan berupa amorf sampai semi kristal (Pujiyanto dkk, 2013).

## 2.2.1 Penelitian Sebelumnya

Sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian tentang beton geopolimer. Beberapa penelitian tersebut diantaranya adalah sebagai berikut :

### a) Diah Nisita Laksmi, Mochtar Hadiwidodo, dan Sri Sumiyati (2010)

Pada penelitian yang berjudul “Pemanfaatan Limbah *Fly Ash* SisaPembakaran Batu Bara dengan Metode Solidifikasi-Stabilisasi sebagai Bahan Campuran *Paving blok* Geopolimer” didapat beberapa kesimpulan antara lain yaitu Kuat tekan maksimal *paving blok* geopolimer terjadi padaumur 28 hari.

Nilai kuat tekan ini didapat dengan membagi nilai beban yang diterima *paving blok* dengan luas permukaan *paving blok*. Nilai daya serap air didapatkan dengan mengurangi berat basah *paving blok* dengan berat kering *paving blok* kemudian membaginya dengan berat kering dan dikalikan seratus persen. Hubungan antara kuat tekan *paving blok*

dengan daya serap air *paving blok* adalah berbanding terbalik. Semakin besar kuat tekan *paving blok* maka daya serap airnya akan semakin kecil dan juga sebaliknya, semakin kecil kuat tekan *paving blok* maka daya serap airnya akan semakin besar. Komposisi optimal *fly ash* sebagai bahancampuran *paving blok* geopolimer terdapat pada variasi *paving blok* geopolimer dengan konsentrasi NaOH 16M dan perbandingan campuran pasir : (*fly ash* + aktivator) = 3 : 1.

**b) Agoes Soehardjono, Prastumi, Taufik Hidayat, dan Gagoek Soenar Prawito (2013)**

Simpulan yang dapat diambil dari penelitian dengan judul “Pengaruh Penggunaan *Bottom Ash* sebagai Pengganti Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan dan Kemampuan Resapan Air Paving” adalah Adanya kenaikan prosentase penyerapan air seiring dengan penambahan *bottom ash*.

Terjadi penurunan kuat tekan seiring dengan penambahan *bottom ash* karena sifat semen sebagai pengikat tidak dapat sepenuhnya digantikan oleh *bottom ash*.

**c) Tjokorde Walmiki Samadhi dan Pambudi Pajar Pratama (2013)**

Pada penelitian “Pembuatan Geopolimer dari Metakaolin dan Abu Terbang” diperoleh kesimpulan antara lain yaitu Selain menghasilkan waktu ikat dan kuat tekan geopolimer yang lebih baik daripada metakaolin yang diproduksi dari kaolin Belitung, abu terbang dari PLTU Paiton juga menghasilkan mortar geopolimer dengan daya tahan termal yang lebih baik.

Pemanasan mortar pada temperatur 800° C, yang diharapkan dapat mewakili pemaparan panas karena kejadian kebakaran pada konstruksi sipil, menyebabkan penurunan kuat tekan mortar geopolimer metakaolin secara



drastis, namun justru sedikit meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer abu terbang.

Telaahan mikrostruktur dengan metode SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menunjukkan reaksi kristalisasi mulitmaupun fasa-fasa kristalin lainnya secara ekstensif pada geopolimer metakaolin, yang mengkonsumsi fasa gel geopolimer, sehingga merusak struktur jaringan gel geopolimer.

Pemanasan geopolimer abu terbang menuntaskan reaksi geopolimerisasi yang meningkatkan kohesi antar partikel abu terbang dan interkoneksi jaringan geopolimer.

**d) Januarti J. Ekaputri dan Triwulan (2013)**

Pada penelitian tentang sodium sebagai aktivator *fly ash*, trass dan lumpur sidarjo dalam beton geopolimer diperoleh beberapa kesimpulan antara lain yaitu Semakin tinggi perbandingan berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan larutan  $\text{NaOH}$  tidak selalu menghasilkan kuat tekan dan kuatbelah yang tinggi pula, sedangkan semakin tinggi molaritas yang digunakan, makasemakin tinggi pula kuat tekan dan kuat belah yang dihasilkan.

Beton geopolimer yang menggunakan molaritas 14 M menghasilkan kuat tekan yang lebih besar jika dibandingkan dengan beton geopolimer dengan molaritas yang lebih rendah. Berdasarkan hasil tes kuat belah beton geopolimer didapatkan bahwa setiap beton yang memiliki kuat tekan tinggi, juga memiliki kuat belah yang relatif tinggi pula di setiap molaritas aktivatornya. Walaupun demikian, ditemukan bahwa beton geopolimer bersifat lebih getas daripada beton konvensional. Berdasarkan hasil tes porositas, dapat disimpulkan bahwa beton yang memiliki prosentase pori tertutup optimum mengindikasikan perilaku mikrostruktur yang baik.

Hasil tes porositas ini berhubungan erat dengan hasil tes tekan dan belah. Semakin banyak jumlah pori tertutup



dalam beton, dan semakin sedikit jumlah pori terbukanya, maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan. Rekomendasi dari hasil penelitian adalah sebagai berikut :

Jenis Binder	Komposisi Beton	NaOH (Molar)	$\frac{Na_2SiO_3}{NaOH}$	$f_c'$ maks:28hari (MPa)	Pemanfaatan beton
A	(100% Fly Ash) + aktivator + agregat	8-14	1-2.5	51.3	Struktural
B	(75%Fly Ash +25% LK)+aktivator+ agregat	12-14	2.5	15.4	Non-Struktural
C	(75%Fly Ash +25% LB)+aktivator+ agregat	12-14	2.5	22.3	Struktural
D	(75%Fly Ash +25% Trass )+aktivator+ agregat	10-14	2-2.5	28.3	Struktural

e) **M. Shofi'ul Amin, Januarti Jaya Ekaputri, dan Triwulan (2014)**

Pada penelitian dengan tema “Potensi Lumpur Sidoarjo Bakar dan *Fly Ash* pada Pembuatan Mortar Ringan Geopolimer” diperoleh beberapa kesimpulan antara lain yaitu Mortar ringan geopolimer dengan *filler* pasir berpotensi sebagai konstruksi non struktural.

Untuk mengurangi berat dari mortar disarankan untuk mengganti agregat halus (pasir) dengan agregat yang lebih ringan. Hasil pengujian kimia (XRD) menunjukkan mortar ringan geopolimer didominasi senyawa *silica oxide* dengan mineral *quartz* ( $SiO_2$ ).

f) **Puput Risdanareni, Triwulan dan Januarti Jaya Ekaputri (2015)**

Penelitian dengan judul “The Influence of Alkali Activator Concentration to Mechanical Properties of Geopolymer Concrete with Trass as a Filler” diperoleh kesimpulan antara lain yaitu molaritas aktifator alkalin yaitu NaOH sangat berpengaruh pada kuat mekanik binder maupun beton geopolimer. Semakin tinggi molaritas NaOH, semakin tinggi kuat mekanik beton maupun binder geopolimer yang di hasilkan.

Molaritas larutan aktifator yang optimum akan diteliti lebih lanjut. Perbandingan rasio aktifator  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  juga sangat berpengaruh pada kuat mekanik beton maupun binder geopolimer.

Semakin tinggi perbandingan rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  tidak selalu menghasilkan kuat tekan yang tinggi. Pada molaritas larutan  $\text{NaOH}$  8M optimum di perbandingan 2 untuk beton dan 2,5 untuk binder, dan pada 10M optimum di perbandingan 2,5 untuk beton maupun binder geopolimer.

Tidak semua beton geopolimer memiliki kuat tekan tinggi pada usia muda. Beton geopolimer dengan perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  2 dan 2,5 memiliki kuat tekan tinggi pada usia muda.

Di rekomendasikan untuk melakukan *curing* suhu tinggi untuk penelitian berikutnya. Beton geopolimer dengan molaritas 10 M dengan perbandingan aktifator 2 dan 2,5 dapat digunakan sebagai beton struktural.

**g) Yulia Putri Wijaya, Triwulan, Dan Januarti Jaya Ekaputri (2014)**

Kesimpulan yang dijadikan sebagai rujukan dari penelitian ini antara lain yaitu Variasi penambahan SCBA dalam penelitian ini adalah sebesar 0%,10%, dan 20% terhadap berat *coal ash*, dari variasi tersebut penambahan SCBA 20% merupakan variasi optimum, karena menghasilkan kuat tekan paling maksimal.

Hasil rata-rata penyerapan air maksimal mortar geopolimer *mix design C* adalah sebagai berikut : benda uji T25 = 4.34%, T25-S10 = 5.19%, T25-S20 = 5.59%, T60 = 4.79%, T60-S10 = 6.20%, dan T60-S20 = 6.51%, hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan SCBA maka penyerapan air semakin besar.

Hasil rata-rata ketahanan aus mortar geopolimer *mix design C* adalah sebagai berikut : benda uji T25 = 0.126

mm/menit, T25-S10 = 0.129 mm/menit, T25- S20 = 0.137 mm/menit, T60 = 0.129 mm/menit, T60- S10 = 0.139 mm/menit, dan T60-S20 = 0.142 mm/menit, hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan SCBA maka nilai aus semakin besar, sehingga menyebabkan ketahanan aus semakin menurun.

## 2.3 Bahan Dasar Paving Geopolimer

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan sampel paving geopolimer dengan bahan-bahan antara lain yaitu *bottom ash*, abu batu, abu ampas tebu atau SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*), dan larutan alkali berupa Sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) sebagai alkali aktivator.

### 2.3.1. Bottom Ash

*Bottom ash* (abu dasar) adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *fly ash*, sehingga abu dasar akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang (Suwarnita, 2012).

Secara kimiawi *bottom ash* memiliki kesamaan dengan *fly ash* yang sering dimanfaatkan sebagai pengganti semen (Zacoeb, 2013). Selain itu *bottom ash* juga bersifat sebagai *pozzoland* (Ristinah, 2012). Selain itu, Ristinah (2012) juga menyebutkan bahwa *bottom ash* dianggap dapat dipergunakan sebagai pengganti semen dikarenakan memiliki unsur silika.

Menurut penelitian sebelumnya (Soehardjono, 2013) perbandingan konsentrasi antara *bottom ash* dengan semen ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.



**Tabel 2.1** Perbandingan sifat kimia *bottom ash* dan bahan penyusun semen

Unsur	Konsentrasi (%)	
	<i>Bottom Ash</i>	Semen
Si	29.04	23.13
Ca	14.55	58.66
Fe	0.059	4.62
Al	0.2576	8.76

Sumber : Soeharjono, 2013

### 2.3.2. SCBA (*Sugarcane Bagasse Ash*)

SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*) merupakan abu dari sisa pembakaran ampas tebu yang diperoleh dari Pabrik Gula Gempol Kereb Sidoarjo. Penambahan dari SCBA ini dimaksudkan untuk menambahkan sumber silika dan meningkatkan sifat amorf dari *bottom ash* yang digunakan dikarenakan pada *bottom ash* mengandung silika yang kurang reaktif.

SCBA mengandung sekitar 50% selulosa, 25% hemiselulosa dan 25% lignin. Satu ton SCBA menghasilkan sekitar 26% ampas tebu (pada kelembaban 50%) dan 0.62% terdiri dari sisa berupa abu. Sisa setelah pembakaran sempurna menghasilkan komposisi kimia yang didominasi silika ( $\text{SiO}_2$ ) (Srinivasan dan Sathiya, 2010).

Abu ampas tebu tersebut dibakar dengan peralatan *furnace* sekitar  $\pm 450^\circ \text{C}$  dalam waktu 4 jam. Penelitian sebelumnya menyebutkan dalam 10 mg pemeriksaan dengan peralatan SEM (*Scanning Electron Microscopy*), abu ampas tebu yang dibakar dengan peralatan *furnace* pada temperatur  $700^\circ \text{C}$  selama 2 jam, selanjutnya material dibiarkan dingin selama 24 jam, mengandung silika sebesar 53,2 % melebihi kadar silika yang ada pada semen portland yaitu 32 % (Yusnar, 2013).



Abu ampas tebu yang dihasilkan harus dibakar kembali dengan suhu pembakaran lebih dari  $600^{\circ}\text{C}$  sehingga abu ampas tebu mengalami perubahan warna dari yang semula berwarna hitam karena masih mengandung karbon berubah warna menjadi cokelat agak kemerahan di mana dalam keadaan ini abu ampas tebu memiliki kandungan silikat yang tinggi. (Rompas 2013)

### 2.3.3. Abu Batu

Abu batu saat ini merupakan bahan hasil sampingan dalam industri pemecahan batu (*stone crusher*) yang jumlahnya tidak sedikit. Menurut Sutarno (2007) Saat ini abu batu tidak begitu laku untuk dijual karena pemakaian dalam industri konstruksi sudah sangat sedikit mengingat konstruksi perkerasan jalan sudah banyak beralih ke lapisan aspal beton, sehingga perlu untuk diupayakan pemanfaatan sebagai campuran pembuatan paving. Abu batu yang dapat digolongkan sebagai *filler* adalah abu batu yang memiliki diameter lebih kecil dari 0,125 mm.

### 2.3.4. Larutan Alkali

Pada pembuatan paving geopolimer ini tidak menggunakan semen sedikitpun sebagai pengikat (*binder*). Semen sepenuhnya diganti dengan larutan alkali berupa Sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) 14 M dan Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dengan perbandingan antara  $\text{NaOH}$  dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  adalah 1:2,5. Kemudian dilakukan penurunan molaritas dengan menambahkan air 5/35 bagian dari berat larutan alkali tersebut atau 8.33% dari berat *bottom ash*. Penambahan air ini dimaksudkan untuk mempermudah *workability* pada saat pengadukan.

Menurut Gosh, Kushal dan Partha (2012),  $\text{NaOH}$  berbentuk Kristal padatan (*flake*) dengan berat jenis 2.15, 97% murni.  $\text{NaOH}$  dilarutkan dengan air untuk mendapatkan molaritas tertentu.. Sedangkan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  memiliki komposisi kimia berupa  $\text{Na}_2\text{O}=14.7\%$ ,  $\text{SiO}_2=29.4\%$ , and water 55.9% dari massa, massa jenisnya  $1.48 \text{ gr/cm}^3$ .

Penelitian selanjutnya menyebutkan sodium silikat merupakan salah satu senyawa yang berperan dalam pembuatan beton geopolimer yang berwarna putih berbentuk gel dan apabila dilarutkan dalam air menghasilkan larutan alkali. Sodium silikat berperan penting untuk mempercepat reaksi polimerisasi (Pujiyanto dkk, 2013).

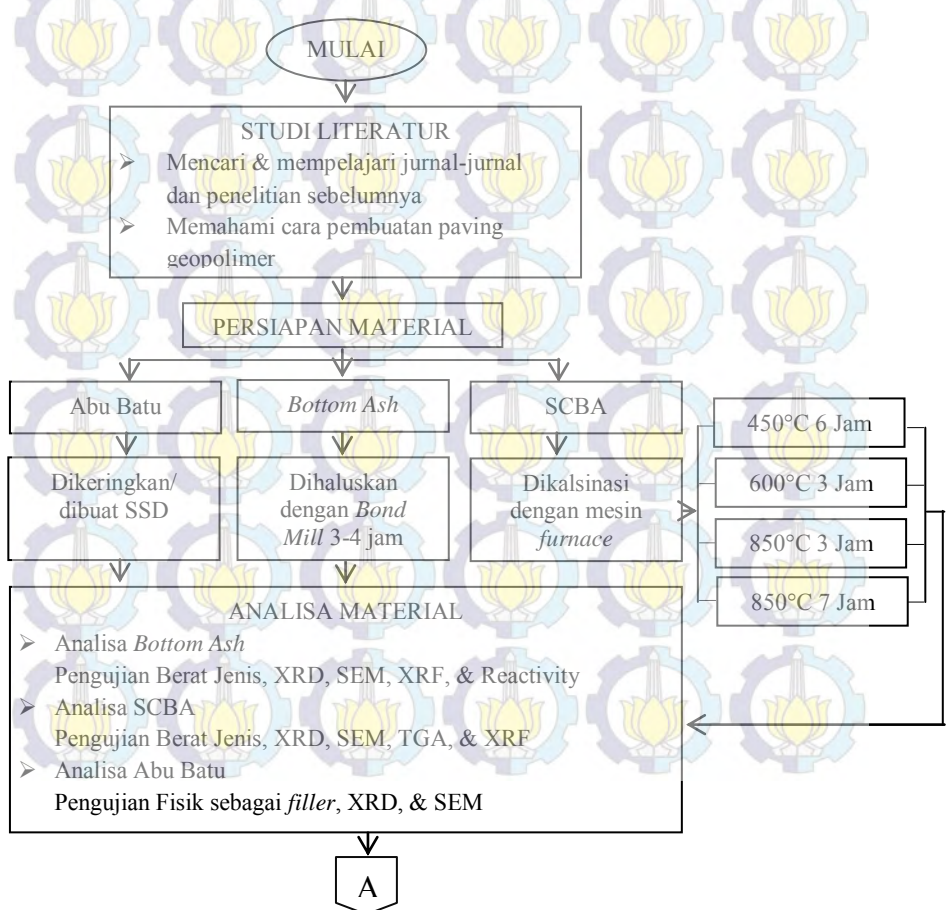
Sedangkan Larutan NaOH diperlukan dalam reaksi geopolimerisasi, yaitu untuk pelarutan (*leaching*) Si dan Al pada partikel abu layang kedalam fase gel. Ion hidroksida mengaktifkan oksida-oksida Si dan Al dan membentuk monomer-monomer pembentuk geopolimer (Laksmi dkk, 2010).

## BAB III

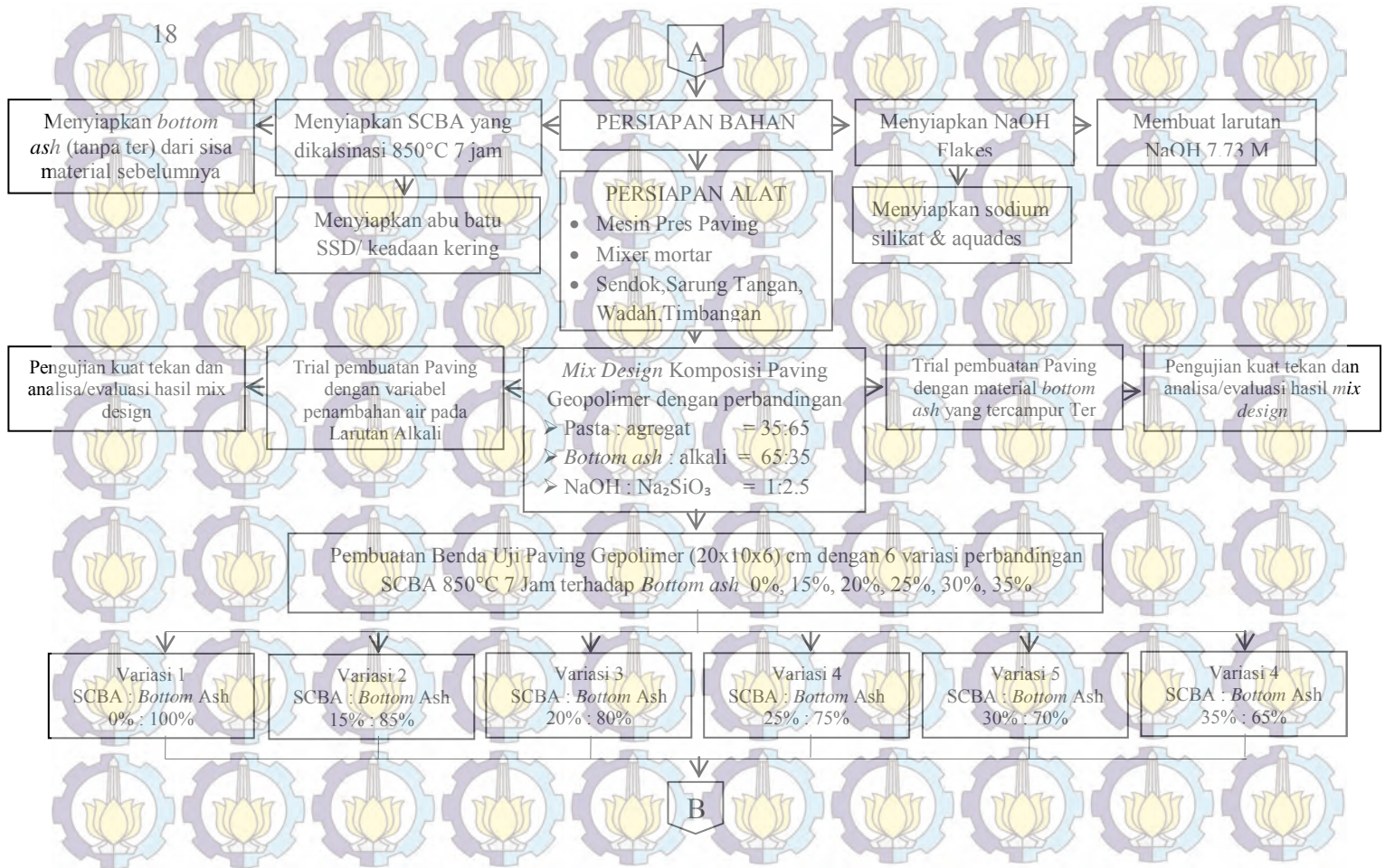
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Umum

Pada bab ini akan dibahas mengenai data-data penelitian serta keseluruhan metode yang dipakai dalam melaksanakan seluruh rangkaian penelitian tentang pembuatan paving geopolimer. Berikut merupakan diagram alir pada penelitian kali ini.









**Gambar 3.1** Bagan Alir Penelitian Paving Geopolimer

### 3.2. Studi Literatur

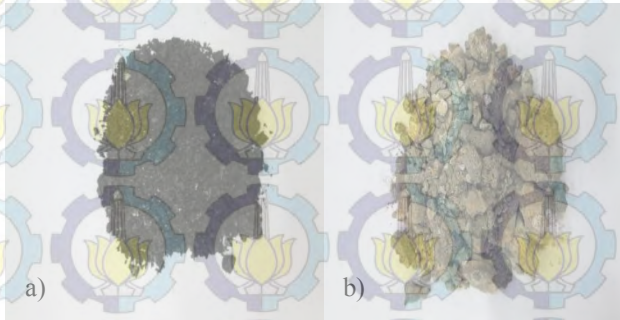
Kegiatan yang dilakukan pada studi literatur yaitu mencari informasi dan mempelajari secara mendalam tentang beton geopolimer dan cara serta metode pembuatan paving berbahan geopolimer. Informasi tersebut diperoleh dari berbagai jurnal penelitian sebelumnya yang didapat dari internet atau dari buku penelitian tugas akhir maupun sumber lain.

### 3.3. Persiapan Material

Beberapa material yang diperlukan dalam pembuatan paving geopolimer antara lain :

#### 3.3.1. *Bottom Ash*

Material *bottom ash* yang dipergunakan diperoleh dari PT. Kasmaji Inti Utama. Sebelum dipergunakan *bottom ash* tersebut dihaluskan dengan mesin *bond mill*. Hal ini dilakukan untuk membuat gradasi menjadi lebih kecil dan halus sehingga mudah dalam *mixing* karena sebelumnya masih berbentuk bongkahan. Setelah dihaluskan *bottom ash* diayak lolos saring no.16 dengan ukuran lubang 1.18 mm sehingga gradasinya seragam.

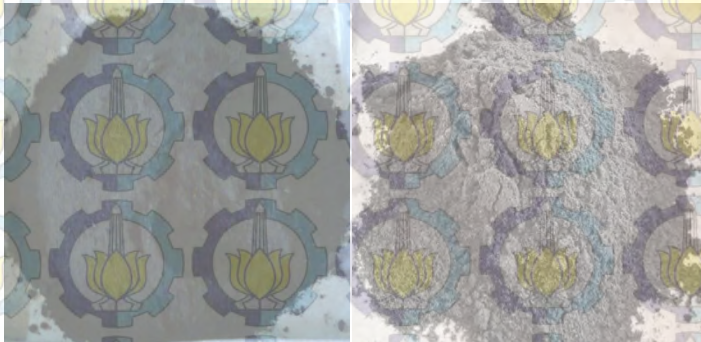


**Gambar 3.2** *Bottom ash* sebelum dihaluskan, a) *bottom ash* dengan Ter b) *bottom ash* tanpa ter



Penghalusan *bottom ash* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Masukkan *bottom ash* kira-kira 1/2 volume mesin *bond mill*.
- Masukkan bola-bola baja sejumlah 40-50 buah.
- Nyalakan Mesin *bond mill* selama 3 jam.
- Keluarkan *bottom ash* dari mesin kemudian diayak dengan saringan no.16 dengan ukuran 1.18 mm.



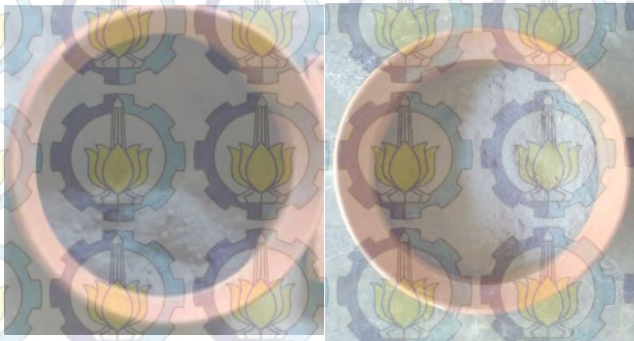
**Gambar 3.3** *Bottom Ash* Setelah Dihaluskan dengan Mesin *Bondmill* a) dengan ter b) Tanpa ter

### 3.3.2. SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*)

SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*) atau abu ampas tebu merupakan limbah penggilingan tebu yang diperoleh dari Pabrik Gula Gempol Kreb. Penambahan dari SCBA ini diharapkan dapat menambah sumber silika dari *bottom ash* yang dipergunakan. Sebelum dipergunakan, SCBA dikalsinasi dengan mesin *furnace* dengan suhu 850° C dalam waktu 7 jam. Selain dengan suhu tersebut kalsinasi juga dilakukan dengan berbagai suhu sebagai perbandingan yaitu pada suhu 450° C selama 6 jam, 600° C selama 3 jam dan juga pada suhu 850° C selama 3 jam.

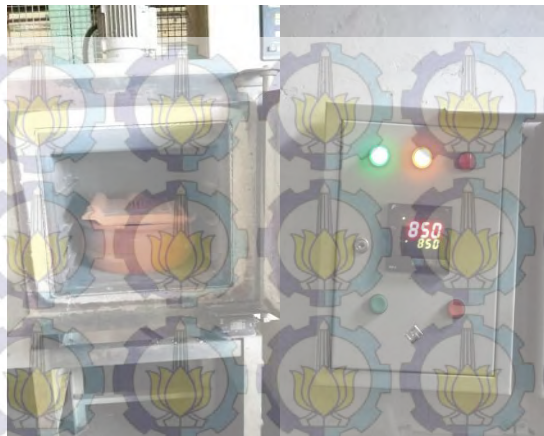
Kalsinasi dimaksudkan untuk mengaktifkan senyawa atau mineral yang mengandung unsur-unsur silika sehingga menjadi

lebih reaktif dalam bergeopolimerisasi dengan alkali. selain itu kalsinasi dilakukan untuk mengubah unsur karbon menjadi unsur yang mendukung proses polimerisasi. Saat proses kalsinasi SCBA ditempatkan pada kwali dari tanah liat dikarenakan memiliki titik lebur tinggi  $\pm 1000^{\circ}\text{C}$ . Visualisasi SCBA sebelum dan setelah dikalsinasi dengan *furnace* dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.

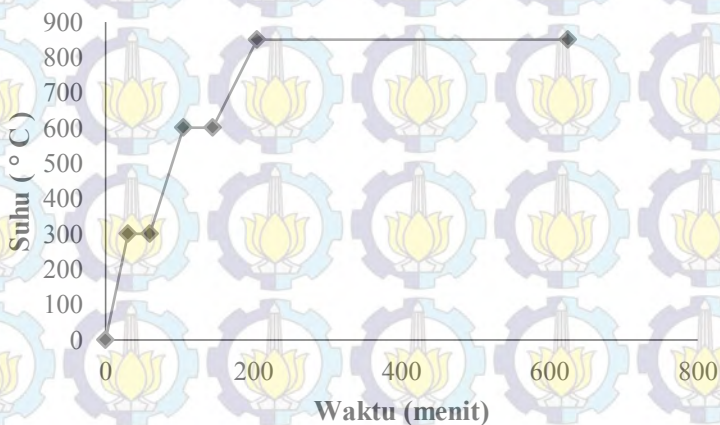


**Gambar 3.4** SCBA a) sebelum dan b) Setelah dikalsinasi dengan *furnace*

Penentuan suhu kalsinasi dilakukan berdasar pertimbangan dari penelitian sebelumnya. Disamping itu juga dilakukan pengujian TGA (*Thermo Gravimetric Analyzer*) pada material SCBA di Laboraturium Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pengujian TGA terhadap SCBA tersebut dimaksudkan untuk mengetahui suhu optimal pembakaran sehingga material tersebut dalam keadaan *amorf* untuk digunakan pada campuran bahan paving geopolimer. Pelaksanaan kalsinasi SCBA sendiri dilakukan dengan mesin *furnace* di *Workshop* Struktur Jurusan Teknik Sipil ITS.



**Gambar 3.5** Mesin *furnace* pada suhu 850° C Selama 7 Jam



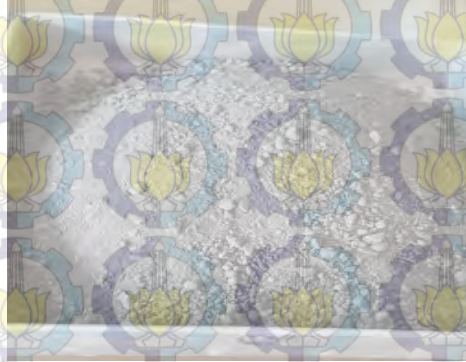
**Gambar 3.6** Grafik historis *setting* suhu rencana *furnace*

### 3.3.3. Abu Batu

Abu batu yang dipergunakan diperoleh dari UD. Mulya Jaya Sidoarjo. Penggunaan abu batu yaitu sebagai material *filler*



pada paving geopolimer. Abu batu merupakan material yang umum dipakai pada industri paving.



**Gambar 3.7** Abu batu sebagai *filler* paving geopolimer

### 3.4. Analisa Material

Analisa material dilakukan untuk memeriksa kualitas dari berbagai material tersebut. Pemeriksaan yang dilakukan berupa pengujian fisik dan pengujian kimia. Dengan melakukan analisa material akan bisa diketahui apakah material-material tersebut memenuhi persyaratan sebagai material dalam pembuatan paving geopolimer.

#### 3.4.1. Analisa *Bottom Ash*

Analisa *bottom ash* meliputi 2 hal, yaitu analisa fisik berupa pengujian berat jenis *bottom ash* dan analisa kimia yang terdiri dari pengujian XRD (*X-ray Diffraction*) untuk mengetahui berbagai mineral kimia atau struktur mikro dan fase yang terkandung dalam *bottom ash*, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui visualisasi material secara mikroskopik dengan perbesaran tertentu, analisa XRF (*X-ray Fluorescence*) untuk mengetahui prosentase masing-masing kandungan senyawa kimia yang terdapat dalam *bottom ash*.

tersebut, dan analisa reaktivitas untuk mengetahui daya ikat atau kereaktifan material.

Analisa fisik material dilakukan di Laboraturium Beton dan Material Teknik Sipil ITS, analisa XRD dan SEM dilakukan di Laboraturium FMIPA Universitas Negeri Makassar, sedangkan analisa XRF dilakukan di Laboraturium PT. Semen Indonesia.

#### **3.4.2. Analisa SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*)**

Analisa SCBA juga meliputi uji fisik, yaitu pengujian berat jenis dan pengujian kimia yaitu pengujian XRD (*X-ray Diffraction*) dan Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yang dilakukan di Laboratorium FMIPA UNM serta pengujian XRF (*X-ray Fluorescence*) di Laboratorium SUCOFINDO Surabaya. Pengujian ini dilakukan sebelum dan setelah SCBA dikalsinasi. Sebelumnya juga dilakukan pengujian TGA (*Thermo Gravimetric Analyzer*) di Laboraturium Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS untuk menentukan suhu kalsinasi optimum SCBA sehingga tepat dalam keadaan *amorf*. selain itu dilakukan juga pengujian reaktivitas SCBA yang telah dikalsinasi dengan suhu 850°C selama 7 jam. pengujian dilakukan di Laboratorium PUSLITBANG tekMIRA Bandung.

#### **3.4.3. Analisa Abu Batu**

Analisa abu batu meliputi analisa pengujian fisik dan pengujian kimia. Pengujian fisik yang dilakukan antara lain berupa pengujian berat jenis, pengujian kadar air resapan, pengujian kelembaban, pengujian berat volume, pengujian kadar lumpur dengan pencucian dan pengendapan, pengujian kandungan zat organis dan pengujian gradasi yang dilakukan di Laboraturium Beton dan Material Jurusan Teknik Sipil ITS. Sedangkan pengujian kimia berupa uji XRD (*X-ray Diffraction*) dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dilakukan di Laboraturium FMIPA Universitas Negeri Makassar.

### 3.4.3.1. Pengujian Berat Jenis Abu Batu (ASTM C128-78)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis abu batu sebagai material *filler* paving geopolimer. Peralatan yang dipersiapkan dalam pengujian ini antara lain :

- a. Labu ukur 1000 cc
- b. Timbangan atau neraca
- c. Oven
- d. *Hair dryer*/ kipas angin
- e. Kerucut SSD
- f. pan

Prosedur pelaksanaan dalam pengujian berat jenis abu batu yaitu :

- a. Siapkan material abu batu dalam kondisi SSD dengan cara sebagai berikut :
  - 1) Rendam abu batu selama 24 jam lalu tiriskan hingga airnya habis.
  - 2) Keringkan abu batu dengan menggunakan *hair dryer* dan kipas angin untuk membuat kondisi SSD
  - 3) Letakkan kerucut SSD diatas pan lalu diisi tiap 1/3 bagian dan dilakukan perojokan tiap 1/3 bagian tersebut masing-masing 8 kali rojokan.
  - 4) Setelah permukaan diratakan lalu angkat kerucut tersebut, apabila masih berbentuk kerucut maka abu batu tersebut masih dalam kondisi belum kering SSD.
  - 5) Lakukan pengeringan kembali, apabila setelah dilakukan pengangkatan kerucut kondisi abu batutelah roboh namun masih memiliki puncak maka kondisi telah kering SSD dan telah bisa dipergunakan dalam pengujian berat jenis.
- b. Timbang Labu ukur 1000 cc dalam kondisi kosong.
- c. Timbang Labu ukur kembali setelah diisi abu batu SSD sebanyak 500 gr.



- d. Isi labu ukur yang telah berisi abu batu dengan air bersih sampai batas garis yang ada pada labu ukur tersebut.
- e. Kocok labu ukur tersebut agar air dan abu batu tercampur rata dan sampai gelembung-gelembung udara hilang lalu lakukan penimbangan labu ukur tersebut ( $W_1$ ).
- f. Setelah itu keluarkan seluruh abu batu dan air dari labu ukur tersebut sampai bersih kemudian isi kembali labu ukur dengan air bersih sampai batas garis yang ada pada labu ukur.
- g. Timbang labu ukur berisi air bersih tersebut ( $W_2$ ).



**Gambar 3.8** Labu ukur pada saat pengujian berat jenis abu batu

Dalam perhitungan berat jenis persamaan yang digunakan adalah :

$$\text{Berat jenis abu batu} = \left( \frac{500}{500 + W_2 - W_1} \right) \dots (3.1)$$

Dimana :

$W_1$  = Berat labu ukur berisi abu batu dan air (gram)

$W_2$  = Berat labu ukur berisi air (gram)

#### 3.4.3.2. Pengujian Kadar Air Resapan Abu Batu (ASTM C128-93)

Pengujian ini dilakukan untuk menghitung banyaknya air yang dapat terserap abu batu. Peralatan yang dipersiapkan dalam pengujian ini antara lain :

- a. Timbangan atau neraca
- b. Oven
- c. Pan

Prosedur pelaksanaan dalam pengujian kadar air resapan abu batu yaitu :

- a. Timbang abu batu dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram.
- b. Masukkan abu batu kedalam oven 100°C selama 24 jam.
- c. Setelah 24 jam abu batu dikeluarkan dan setelah dingin ditimbang beratnya ( $W_1$ ).

Dalam menghitung kadar air resapan terhadap abu batu dipergunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kadar air resapan} = \left( \frac{500 - W_1}{W_1} \right) \times 100\% \dots (3.2)$$

Dimana :

$W_1$  = Berat abu batu kering oven (gram)

#### 3.4.3.3. Pengujian Kelembaban Abu Batu (ASTM C556-89)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kelembaban abu batu sebelum dipakai sebagai benda uji. Alat-alat yang harus dipersiapkan dalam pengujian ini antara lain :

- a. Timbangan atau neraca

- b. Oven
- c. Pan

Langkah kerja pengujian kelembaban abu batu sebagai berikut :

- a. Timbang abu batu dalam keadaan asli sebanyak 500 gram ( $W_1$ ).
- b. Masukkan abu batu kedalam oven  $100^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam.
- c. Keluarkan abu batu dari oven dan setelah dingin ditimbang beratnya ( $W_2$ ).

Persamaan yang dipakai untuk perhitungan kelembaban abu batu adalah :

$$\text{Kelembaban abu batu} = \left( \frac{W_2 - W_1}{W_1} \right) \times 100\% \dots (3.3)$$

Dimana :

$W_1$  = Berat abu batu kering oven (gram)

$W_2$  = Berat abu batu asli (gram)

#### 3.4.3.4. Pengujian Berat Volume Abu Batu (ASTM C29-91)

Tujuan pengujian ini untuk Menentukan berat volume abu batu baik dalam keadaan lepas maupun padat. Pengujian ini dilakukan dengan dua metode, metode yang pertama dengan perojokan dalam silinder volume sedangkan metode kedua dipadatkan dengan dibanting atau dijatuhkan dari ketinggian. Peralatan yang dipergunakan dalam pengujian ini antara lain :

- a. Timbangan
- b. Silinder volume 3 liter
- c. Tongkat perojok dari besi

Metode atau langkah-langkah pengujian berat volume yaitu :

- 1. Metode tanpa rojokan / lepas



- a. Timbang silinder dalam keadaan kosong ( $W_1$ ).
  - b. Isi silinder dengan abu batu sampai penuh lalu diangkat setinggi 1 cm.
  - c. Silinder dijatuhkan atau dibanting ke lantai sebanyak tiga kali dan permukaannya diratakan.
  - d. Timbang silinder yang sudah terisi abu batu ( $W_2$ ).
2. Metode dengan rojokan
    - a. Timbang silinder dalam keadaan kosong dan bersih ( $W_1$ ).
    - b. Isi silinder dengan abu batu setiap  $1/3$  bagian dan masing-masing bagian dirojok dengan besi sebanyak 25 kali.
    - c. Ratakan permukaan abu batu pada silinder dan kemudian ditimbang ( $W_2$ ).

Persamaan yang dipergunakan pada pengujian ini yaitu :

$$\text{Berat volume abu batu} = \frac{W_2 - W_1}{V} \dots (3.4)$$

Dimana :

$V$ =volume silinder (liter)

Kemudian antar pengujian dua metode tersebut dilakukan penghitungan selisih yang nilainya tidak boleh lebih dari 40  $\text{Kg/m}^3$ .

#### **3.4.3.5. Pengujian Kadar Lumpur Dengan Pencucian Atau Metode Penyaringan Basah (ASTM C117-95)**

Pengujian pemeriksaan kadar lumpur dengan pencucian dilakukan terhadap abu batu dilakukan dengan mempersiapkan peralatan sebagai berikut :

- a. Timbangan atau neraca
- b. Saringan no. 200 dan no. 50.
- c. Oven

## d. Pan

Langkah-langkah pengujian pemeriksaan kadar lumpur antara lain :

- Timbang abu batu dalam keadaan kering oven sampai berat tetap sebanyak 500 gram (W1).
- Masukkan benda uji ke dalam wadah dan tambahkan air bersih secukupnya hingga keseluruhan terendam.
- Aduk air cucian dalam wadah sehingga lumpur yang menempel pada agregat lepas.
- Tuang air pencucian ke saringan no.200 berkali-kali, usahakan agar bahan kasar tidak ikut tertuang.
- Semua bahan yang tertahan saringan dikembalikan ke pan abu batu.
- Abu batu dioven dengan suhu  $110 \pm 5$  derajat celcius (W2).

Persamaan yang dipakai dalam menghitung kadar lumpur dengan pencucian yaitu :

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W2-W1}{W2} \times 100\% \dots (3.5)$$

Dimana :

W1 = Berat abu batu kering oven (gram)

W2 = Berat abu batu bersih dan kering (gram)

#### 3.4.3.6. Pengujian Kadar Lumpur Dengan Cara Pengendapan (ASTM C33-86)

Pengujian kadar lumpur dengan pengendapan dilakukan dengan mempersiapkan peralatan sebagai antara lain :

- Botol bening atau silinder ukur
- Penggaris

Langkah pengujian kadar lumpur dengan metode pengendapan adalah sebagai berikut :

- Masukkan abu batu setinggi  $\pm 6$  cm kedalam botol.

- b. Isi dengan air bersih sampai penuh atau ukuran tertentu kemudian ditutup.
- c. Kocok botol tersebut sampai merata dan dibolak-balik.
- d. Diamkan botol tersebut selama 24 jam.
- e. Endapan lumpur yang terlihat diukur tingginya.

Persamaan yang digunakan dalam pemeriksaan kadar lumpur dengan pengendapan yaitu :

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{h}{H} \times 100\% \dots (3.6)$$

Dimana :

h = Tinggi pengendapan lumpur dalam botol (cm)

H = Tinggi abu batu dalam botol (cm)

#### **3.4.3.7. Pengujian Kandungan Zat Organik Dalam Abu Batu (ASTM C40-92)**

Pengujian kandungan zat organik dalam abu batu bertujuan untuk mengetahui apakah abu batu tersebut tercampur bahan-bahan yang terindikasi zat-zat yang dapat merusak atau mengurangi kualitas campuran material tersebut.

peralatan yang harus dipersiapkan dalam pengujian ini antara lain :

- a. Botol bening
- b. penggaris

Langkah-langkah pengujian kandungan zat organik dalam abu batu sebagai berikut :

- a. Isi botol bening dengan abu batu  $\pm 130$  ml.
- b. Tambahkan NaOH 3% sampai 200 ml.
- c. Tutup rapat dan kocok selama  $\pm 10$  menit dan diamkan selama 24 jam.



- d. Amati warna cairan di atas permukaan abu batu yang ada dalam botol bandingkan warnanya dengan warna cairan pembanding.

Apabila warna cairan dalam botol berisi agregat lebih pekat dari warna pembanding, berarti dapat disimpulkan dalam agregat berkadar zat organik terlalu tinggi.

#### **3.4.3.8. Pengujian Analisa Saringan Abu Batu (ASTM C33-78 dan BS 882-1973)**

Pengujian analisa saringan dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran abu batu. Alat-alat yang dipergunakan pada pengujian ini antara lain :

- a. Set ayakan berdasarkan standar ASTM C 33.
- b. Timbangan atau neraca.
- c. Sikat besi.



**Gambar 3.9** Set ayakan berdasarkan ASTM C 33

Pengujian analisa ayakan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Timbang abu batu sebanyak 1000 gram.
- b. Bersihkan masing-masing ayakan dan susun secara berurutan sesuai ASTM C 33 dari urutan paling besar di atas dan pasang pan di paling bawah.

- c. Masukkan abu batu seluruhnya dan guncangkan set ayakan dengan tangan atau mesin getar ayakan selama 15 menit.
- d. Timbang abu batu disetiap ayakan dan di sisa ataupun.
- e. Lakukan kontrol berat keseluruhan dan setelah selesai sajikan dalam bentuk grafik gradasi saringan.

### 3.5. Persiapan Bahan Paving Geopolimer

Setelah dilakukan analisa terhadap material yang akan dipergunakan sebagian besar memenuhi syarat terutama sebagai material paving geopolimer lalu dilakukan persiapan bahan-bahan tersebut. Kemudian persiapkan bahan-bahan pengikat sebagai pengganti semen atau disebut dengan alkali. Bahan-bahan yang perlu dipersiapkan dalam pembuatan paving geopolimer yaitu :

#### 3.5.1. Larutan NaOH (Natrium hidroksida)

Larutan NaOH dibuat dengan cara melarutkan NaOH padat yang dibeli ditoko kimia dengan air suling. Berdasarkan hasil dari penelitian sebelumnya, Larutan NaOH yang dipergunakan dalam membuat paving geopolimer berkadar 7.73 M. Hal ini dilakukan dengan mengencerkan NaOH 14 M dengan penambahan air sebanyak 5/35 bagian dari larutan alkali yang dipakai sehingga molaritas NaOH turun.

Proses pembuatan larutan NaOH adalah sebagai berikut :

- a. Timbang NaOH padat (flakes) sebanyak 560 gram untuk 1 liter air dan masukkan pada gelas ukur.

Diperoleh massa sebesar 560 gram berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$M = \frac{1}{V} \times \frac{\text{massa NaOH}}{Mr \text{ NaOH}} \dots (3.7)$$

Dimana :

M = Molaritas larutan (M)

V = Volume larutan (liter)

massa = Massa NaOH (gram)

$M_r$  = Massa molekul relatif NaOH = 40 (gram/mol)

Sehingga untuk mendapatkan larutan NaOH dalam 1 liter air dengan konsentrasi 14 M dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{massa NaOH} &= M \times V \times M_r \text{ NaOH} \\ &= 14 \frac{\text{mol}}{1 \text{ liter larutan}} \times 1 \text{ liter} \times 40 \text{ gram/mol} \\ &= 560 \text{ gram} \end{aligned}$$

- Tambahkan aquades sampai 1 liter kemudian aduk dengan pengaduk kaca secara merata sampai larut.
- Setelah larutan NaOH 14 M dingin lakukan penurunan molaritas atau pengenceran dengan menambahkan air sehingga molaritas NaOH berkurang menjadi 7.73 M
- Aduk hingga tercampur merata.



**Gambar 3.10** Pembuatan larutan NaOH

Perhitungan untuk menurunkan molaritas larutan NaOH 14 M menjadi larutan NaOH 7.73 M dalam pembuatan 1 buah paving geopolimer adalah sebagai berikut :

BJ larutan NaOH 14 M sebesar 1.35 g/ml (dari perhitungan)



Larutan NaOH 14 M tiap 1 paving sebesar 100 gr terdiri dari :

$$\begin{aligned}\text{NaOH} &= \frac{14 \text{ mol}}{1000 \text{ ml}} \times 100 \text{ gram} \times \frac{40 \text{ gram}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{ ml}}{1.35 \text{ gram}} \\ &= 41.48 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{H}_2\text{O} &= \text{massa larutan} - \text{massa NaOH} \\ &= 100 \text{ gram} - 41.48 \text{ gram} \\ &= 58.52 \text{ gram}\end{aligned}$$

Penambahan air sebesar 60 gram, maka :

$$\begin{aligned}\text{Volume larutan awal} &= \frac{\text{massa larutan awal}}{\text{massa jenis larutan}} \\ &= 100 \text{ gram} \times \frac{1 \text{ ml}}{1.35 \text{ gram}} = 74.07 \text{ ml}\end{aligned}$$

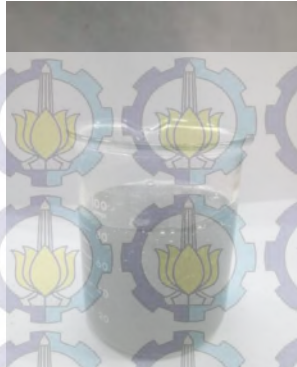
Volume larutan akhir = Vol Larutan awal + Vol air yang ditambahkan

$$\begin{aligned}\text{karena } \rho_{\text{air}} &= 1 \text{ g/ml maka volume air} = 60 \text{ ml} \\ &= 74.07 \text{ ml} + 60 \text{ ml} = 134.07 \text{ ml}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Molaritas akhir} &= \frac{\text{mol NaOH terlarut}}{\text{volume larutan akhir}} \\ &= 41.48 \text{ gram} \times \frac{1 \text{ mol}}{40 \text{ gram}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ liter}} \times \frac{1}{134.07 \text{ ml}} \\ &= 7.73 \text{ M}\end{aligned}$$

### 3.5.2. Sodium Silikat (*Water glass*)

Sodium silikat yang dipakai dalam pembuatan paving geopolimer menggunakan type Be-38 dan diperoleh dari PT. Kasmaji Inti Utama. Berbagai senyawa yang terkandung dalam Sodium silikat antara lain  $\text{Na}_2\text{O}$  sebanyak 18% ,  $\text{SiO}_2$  36%, dan  $\text{H}_2\text{O}$  46%. Sodium silikat inilah yang berperan sebagai pengganti semen setelah diaktivasi dengan NaOH (Natrium hidroksida) menjadi larutan alkali.



**Gambar 3.11** Sodium silikat

### 3.5.3. Aquades (Air suling)

Aquades merupakan air hasil destilasi atau penyulingan sehingga air ini hampir tidak mengandung mineral dan bersifat murni berupa senyawa  $H_2O$ . Penggunaan air aquades adalah untuk melarutkan NaOH dalam bentuk padatan. Aquades dibeli di toko kimia.

Selain beberapa bahan tersebut juga dipersiapkan material-material pembuatan paving geopolimer yang telah dibahas sebelumnya yaitu *bottom ash*, SCBA (*Sugar cane bagasse ash*), dan abu batu.

### 3.6. Pembuatan Larutan Alkali

Pembuatan larutan alkali dilakukan karena larutan ini merupakan bahan pengikat sebagai pengganti semen. Dari keseluruhan bahan dan atau material pembuatan paving geopolimer, larutan alkali merupakan satu-satunya bahan yang berupa zat cair. Larutan alkali terdiri dari campuran NaOH, air dan  $Na_2SiO_3$  (Sodium silikat).

Pembuatan larutan alkali untuk pembuatan satu buah paving geopolimer dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Larutkan NaOH padat dengan aquades menjadi larutan NaOH 14 M sebanyak 0,1 kg.
- b. Lakukan pengenceran atau penurunan molaritas menjadi 7,73 M dengan cara menambahkan air sebanyak 0,06 kg atau 5/35 bagian dari jumlah larutan alkali (untuk *workability*).
- c. Campurkan larutan NaOH 7.73 M tersebut dengan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  sebanyak 0,24 kg.
- d. Aduk seluruh campuran tersebut hingga homogen.

### 3.7. Mix Design Paving Geopimer

*Mix design* paving geopolimer didasarkan pada penelitian sebelumnya tentang mortar geopolimer untuk paving dan bata yaitu :

- a. Perbandingan antara pasta (*bottom ash* dan larutan alkali) dengan agregat 35:65.
- b. Perbandingan antara *bottom ash* dengan larutan alkali 65:35.
- c. Perbandingan alkali berupa  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dengan larutan NaOH 14 M adalah 2.5:1.
- d. Penambahan air untuk pengenceran larutan NaOH 14 M menjadi larutan NaOH 7.73 M sebesar 5/35 bagian dari jumlah larutan alkali atau 2.91% dari berat abu batu atau 8.33% dari berat campuran *bottom ash* dengan SCBA.

variabel yang dikaji dalam penelitian ini yaitu pengaruh penambahan SCBA sebagai substitusi parsial terhadap *bottom ash* sebagai bahan campuran dalam pembuatan paving geopolimer.

Dalam pembuatan paving geopolimer untuk sekali pengadukan terdiri dari 3 buah paving dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm . Total benda uji yang dibuat pada penelitian ini adalah 90 buah. Diperlukan komposisi material untuk masing masing variasi seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.



**Tabel 3.1** Komposisi Kebutuhan Material untuk sekali Pengadukan Paving Geopolimer (9500 gram)

Kode Benda Uji	Berat (gr) untuk 3 Buah Paving (20x10x6) cm					
	Abu Batu	<i>Bottom Ash</i>	SCBA	NaOH 14M	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Air
P0-S	6180	2160	0.00	300	720	180
P15-S	6180	1830	330	300	720	180
P20-S	6180	1740	420	300	720	180
P25-S	6180	1620	540	300	720	180
P30-S	6180	1500	660	300	720	180
P35-S	6180	1410	750	300	720	180

Penjelasan kode benda uji pada masing-masing variasi adalah sebagai berikut :

P0-S = Paving geopolimer dengan 0% SCBA

P15-S = Paving geopolimer dengan 15% SCBA

P20-S = Paving geopolimer dengan 20% SCBA

P25-S = Paving geopolimer dengan 25% SCBA

P30-S = Paving geopolimer dengan 30% SCBA

P35-S = Paving geopolimer dengan 35% SCBA

dimana % SCBA untuk tiap variasi dihitung terhadap berat *bottom ash*.

Komposisi material tiap 1 m<sup>3</sup> paving geopolimer untuk setiap variasi akan ditunjukkan pada **Tabel 3.2** sedangkan komposisi paving geopolimer dalam persen berat ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

Berat Volume dari Beton Geopolimer adalah 2200 kg/m<sup>3</sup> (berdasarkan dari analisa pembuatan benda uji) dengan total berjumlah 830 buah/m<sup>3</sup>.

**Tabel 3.2** Komposisi Kebutuhan Material Tiap 1 m<sup>3</sup> Paving Geopolimer

Kode Benda Uji	Berat (kg) untuk 1 m <sup>3</sup> Paving					
	Abu Batu	<i>Bottom Ash</i>	SCBA	NaOH 14M	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Air
P0-S	1716.00	600.60	0.00	79.20	198.00	46.20
P15-S	1716.00	510.51	90.09	79.20	198.00	46.20
P20-S	1716.00	480.48	120.12	79.20	198.00	46.20
P25-S	1716.00	450.45	150.15	79.20	198.00	46.20
P30-S	1716.00	420.42	180.18	79.20	198.00	46.20
P35-S	1716.00	390.39	210.21	79.20	198.00	46.20

**Tabel 3.3** Komposisi Kebutuhan Material Paving Geopolimer dalam Persen

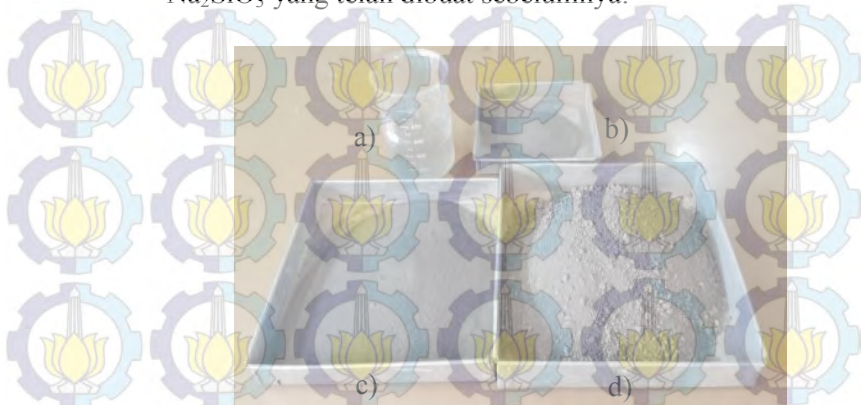
Kode Benda Uji	Berat (kg) untuk 1 Buah Paving (20x10x6) cm dalam %						Total (%)
	Abu Batu	<i>Bottom Ash</i>	SCBA	NaOH 14M	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Air	
P0-S	65.01	22.74	0.00	3.00	7.50	1.75	100
P15-S	65.01	19.33	3.41	3.00	7.50	1.75	100
P20-S	65.01	18.20	4.55	3.00	7.50	1.75	100
P25-S	65.01	17.06	5.69	3.00	7.50	1.75	100
P30-S	65.01	15.92	6.82	3.00	7.50	1.75	100
P35-S	65.01	14.78	7.96	3.00	7.50	1.75	100

### 3.8. Prosedur Pembuatan Benda Uji Paving Geopolimer

Benda uji yang dibuat berupa paving dengan dimensi 20 cm x 10 cm x 6 cm. Proses pembuatan benda uji dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut ;

- Siapkan seluruh material untuk campuran paving geopolimer meliputi, *bottom ash*, SCBA, abu batu, serta

larutan alkali aktivator berupa NaOH 7,73 M dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang telah dibuat sebelumnya.



**Gambar 3.12** Material Paving Geopolimer a) Alkali aktivator b) SCBA c) *Bottom ash* d) Abu batu

- b. Siapkan Peralatan yang dipergunakan dalam pembuatan paving geopolimer, meliputi :
  1. *Mixer* untuk alat pengadukan, bisa juga diaduk manual dengan tangan atau sekop untuk skala kecil atau dengan menggunakan molen untuk pembuatan dalam skala industri.
  2. Mesin pres paving manual dengan cetakan berbentuk balok.
  3. Sendok atau skop.
  4. Wadah untuk campuran.
  5. Sarung tangan karet.
- c. Campur *bottom ash*, abu batu, dan SCBA untuk masing-masing variasi dengan menggunakan *mixer*.
- d. Tambahkan larutan alkali aktivator kedalam adukan sedikit demi sedikit dalam keadaan *mixer* tetap berputar. Larutan alkali aktifator ini dibuat dengan mencampur



NaOH 7.73 M dengan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  sesuai komposisi yang telah ditentukan berdasarkan *mix design*.

- e. Percepat putaran *mixer* sampai adukan tercampur secara merata 8-10 menit.
- f. Masukkan adukan paving kedalam wadah yang telah dipersiapkan sebelumnya.
- g. Siapkan mesin pres paving, lumuri dengan minyak pelumas atau oli agar adukan tidak lengket.
- h. Masukkan adukan kedalam cetakan mesin pres paving, adukan yang dimasukkan sebelumnya telah ditimbang 3.168 kg untuk setiap paving sekali cetak.
- i. Lakukan *pressing* sampai batas maksimal alat pres paving.
- j. Keluarkan paving dari alat pres paving tersebut.

### 3.9. Prosedur *Curing* dan *Storage Paving Geopolimer*

Setelah selesai di pres, paving disimpan atau diletakkan di tempat terbuka, bisa di halaman atau di teras bangunan sehingga dimungkinkan terpapar oleh sinar matahari. *Curing* jemur ini disesuaikan sama seperti pada industri paving pada umumnya namun tidak dilakukan penyiraman air.

Paving geopolimer bisa juga ditempatkan dalam gudang penyimpanan, namun perlu dilakukan penjemuran dengan suhu lingkungan kota Surabaya sekitar  $30^{\circ}\text{--}34^{\circ}\text{C}$  dengan kelembaban udara 70-80%. Hindarkan sebisa mungkin untuk tidak terkena air terutama air hujan dengan cara ditutup terpal apabila paving diletakkan diluar ruangan sampai saat tiba waktu pengujian.

### 3.10. Pengujian Mekanik Paving Geopolimer

Pengujian mekanik yang dilakukan terhadap paving geopolimer meliputi 4 macam, yaitu pengujian berat volume, kuat tekan, pengujian ketahanan aus paving, dan pengujian resapan air. Pengujian ini dilakukan berdasarkan pedoman yang dilakukan

pada paving secara umum yaitu SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving block*).

### 3.10.1. Pengujian Berat Volume Paving Geopolimer (ASTM C138-77)

Pengujian berat volume dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kepadatan paving geopolimer tiap  $m^3$  untuk setiap variasi pada umur 28 hari.

Pengujian berat volume paving geopolimer dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Timbang paving masing-masing variasi setelah umur mencapai 28 hari.
- Lakukan penghitungan volume setiap paving.
- Lakukan penghitungan berat volume paving dengan menggunakan persamaan 3.8 :

$$p = \frac{B_p}{V} \dots (3.8)$$

Dimana :

$p$  = Berat volume paving (gr/cm<sup>3</sup>)

$B_p$  = Berat paving geopolimer (gr)

$V$  = Volume paving geopolimer (cm<sup>3</sup>)

- Lakukan konversi satuan gr/cm<sup>3</sup> menjadi kg/m<sup>3</sup> untuk mengetahui berat volume paving tiap  $m^3$ .

### 3.10.2. Pengujian Kuat Tekan Paving Geopolimer (ASTM C39-94) serta (SNI 03-0691-1996 dan BS 6717)

Pengujian kuat tekan paving dilakukan terhadap seluruh variasi paving. Masing-masing variasi terdiri 3 buah beda uji paving berbentuk balok dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm. Pengujian dilakukan pada saat umur paving mencapai 7, 14, 21, dan 28 hari.

Pengujian kuat tekan sendiri dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan maksimum paving geopolimer terhadap

pembebanan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat berupa mesin uji kuat tekan (*Universal Testing Machine*) di Laboratorium Beton, Bahan dan Bangunan Teknik Sipil ITS. Pengujian kuat tekan langkah-langkah sebagai berikut :

- Siapkan benda uji lalu dilakukan penimbangan berat untuk masing-masing benda uji. (tidak perlu dilakukan *capping* dikarenakan permukaan benda uji bagian bawah ataupun atas telah rata)
- Letakkan benda uji pada mesin tekan, lakukan pembebanan pada benda uji sampai batas hancur. (jarum warna merah berhenti dan jarum warna hitam kembali ke posisi 0)
- Baca dan catat nilai kuat tekan yang ditunjukkan oleh jarum pada mesin kuat tekan.
- Lakukan konversi hasil kuat tekan dari Ton atau kg menjadi MPa.

Perhitungan kuat tekan sendiri dihitung menggunakan persamaan 3.9 :

$$= \frac{P}{A \times 100} \times g \dots (3.9)$$

Dimana :

= Kuat tekan (MPa)

P = Gaya yang diberikan pada permukaan paving (kg)

A = Luas bidang tekan paving (cm<sup>2</sup>)

g = Percepatan gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

Dikarenakan paving yang dibuat berbentuk balok dengan sisi atas chamfer maka mutu paving pada pengujian kuat tekan didasarkan pada peraturan *British Standard* (BS 6717) yaitu dengan rumus kuat tekan yang dikali dengan faktor koreksi sesuai dengan ketebalan paving yang dibuat.

Perhitungan kuat tekan berdasarkan peraturan BS 6717 dihitung dengan persamaan 3.10



$$\sigma = \frac{P_c}{A} \times g \times f_c \dots (3.10)$$

Dimana :

$\sigma$  = Kuat tekan (MPa)

$P_c$  = Gaya yang diberikan pada permukaan paving (kg)

$A$  = Luasan dimensi bidang horizontal paving (cm<sup>2</sup>)

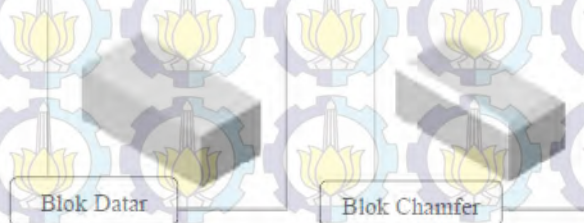
$g$  = Percepatan gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$f_c$  = Faktor koreksi tebal dan luasan paving

**Tabel 3.10** Nilai faktor koreksi tebal dan luasan paving

Tebal (mm)	Blok datar	Blok <i>Chamfer</i>
60 atau 65	1.00	1.06
80	1.12	1.18
100	1.18	1.24

Sumber : BS 6717:5



Sumber: [eprints.undip.ac.id/33912/6/1853\\_CHAPTER\\_2.pdf](https://eprints.undip.ac.id/33912/6/1853_CHAPTER_2.pdf)

**Gambar 3.13** Paving sisi blok datar dan blok *chamfer*

### 3.10.3. Cek Kovarian untuk Kontrol Kualitas

Untuk mengetahui kualitas dari benda uji yang telah dibuat, perlu dilakukan kontrol kualitas untuk dapat mengetahui

mutu dari benda uji yang telah dibuat. Penentuan kontrol kualitas didasarkan pada perhitungan nilai kovarian laboratorium.

Kontrol kualitas sendiri ditentukan dengan menghitung kovarian berdasarkan nilai standar deviasi dari rata-rata pengujian kuat tekan. Persamaannya dihitung dengan persamaan 3.11 dan 3.12.

Standar deviasi :

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x-\mu)^2}{n-1}} \dots (3.11)$$

Kovarian :

$$C = \frac{S}{\mu} \dots (3.12)$$

Dimana :

S = Standar deviasi (MPa)

C = Kovarian (%)

x = Nilai benda uji

$\mu$  = Rata-rata

n = Jumlah benda uji

**Tabel 3.11** Kontrol Kualitas Beton (SNI 03-6813-2002)

Standar Deviasi (Mpa)		Kovarian (%)		Kontrol Kualitas
Lapangan	Laboratorium	Lapangan	Laboratorium	
< 2.8	< 1.4	< 9.33	< 4.67	Istimewa
2.8 - 3.5	1.4 - 1.7	9.33 - 11.67	4.67 - 5.67	Sangat Baik
3.5 - 4.2	1.7 - 2.1	11.67 - 14.00	5.67 - 7.00	Baik
4.2 - 4.9	2.1 - 2.4	14.00 - 16.33	7.00 - 8.00	Cukup
> 4.9	> 2.4	> 16.33	> 8.00	Kurang

Kontrol kualitas direncanakan minimal memenuhi standar kualitas cukup. Apabila dalam pelaksanaan diperoleh kualitas kurang, maka dilakukan pengulangan pembuatan benda uji.

#### 3.10.4. Pengujian Ketahanan Aus Paving Geopolimer

Pengujian ketahanan aus dilaksanakan di Laboratorium Beton Diploma Teknik Sipil ITS. Pengujian ketahanan aus sendiri dimaksudkan untuk mengetahui besarnya tingkat keausan paving yang diakibatkan oleh gesekan roda kendaraan.

Pelaksanaan pengujian kuat aus paving dilakukan dengan langkah-langkah :

- a. Timbang paving dalam keadaan normal sebelum dilakukan pengujian.
- b. Lakukan pengujian dengan mesin aus. Pengujian maksimum dilakukan selama 3 atau 6 menit. Apabila sebelum waktu tersebut nilai keausan terlampau besar maka pengujian dihentikan.
- c. Lakukan penimbangan setelah pengujian selesai.
- d. Hitung selisih berat benda uji sebelum dan setelah pengujian.
- e. Lakukan pengujian berat jenis lapisan permukaan yang terkena aus dengan membagi berat paving setelah direndam dengan berat paving setelah direndam kurangi berat dalam air.
- f. Hitung keausan paving dengan persamaan :

$$\text{Ketahanan Aus} = \frac{A \times 10}{B_j \times L \times W} \dots (3.13)$$

Dimana :

A = Selisih berat benda uji sebelum dan sesudah diaus (gr)

B<sub>j</sub> = Berat jenis rata-rata (gr/cm<sup>3</sup>)

L = Luas permukaan bidang tekan (cm<sup>2</sup>)

W = Lama waktu pengausan (menit)



### 3.10.5. Pengujian Resapan Air Paving Geopolimer

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya resapan air yang terjadi pada paving geopolimer terutama saat terjadi hujan atau genangan air. Pengujian resapan air dilakukan dengan langkah-langkah :

- Siapkan dan timbang benda uji.
- Rendam dalam air selama 24 jam sampai kondisi benda uji jenuh.
- Angkat benda uji dan timbang (A) setelah 24 jam.
- Lakukan pengeringan dalam oven selama kurang lebih 24 jam, pada suhu kurang lebih 105°C sampai beratnya pada dua kali penimbangan berselisih tidak lebih dari 0.2 % penimbangan sebelumnya. (B)
- Lakukan penghitungan resapan air paving dengan menggunakan persamaan 3.13.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots (3.14)$$

Dimana :

A = Berat paving basah (gr)

B = Berat paving kering oven (gr)

### 3.11. Analisa Uji XRD (*X-ray Diffraction*) Paving Geopolimer

Analisa ini dimaksudkan untuk mengetahui mineral-mineral kimia yang terkandung dalam benda uji berupa paving geopolimer. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium FMIPA Universitas Negeri Makassar. Langkah pengujian yang dilakukan antara lain yaitu :

- Siapkan sampel dari benda uji paving yang optimum.
- Samper didapatkan dengan cara menumbuk benda uji hingga halus.
- Hail tumbukan sampel diayak dengan saringan no. 200 (lolos ayakan 150  $\mu\text{m}$ ).

- d. Jumlah sampel yang dibutuhkan disesuaikan dengan houlder (cetakan/ tempat meletakkan serbuk material tersebut),  $\pm 1-3$  gram.
- e. Hasil dari Pengujian tersebut kemudian di cocokan dengan hasil dari program *X-Powder* untuk diketahui apa saja kandungan mineral penyusun dalam benda uji.
- f. Lakukan analisa terhadap berbagai kandungan mineral pada benda uji tersebut.



**Gambar 3.14** Alat Pengujian XRD (*X-ray Diffraction*)

Sumber : <http://www.google.com/> - Laboratorium Sentral - FMIPA Universitas Negeri Malang

### 3.12. Analisa Reaktivitas *Bottom Ash* (ASTM C 593-95)

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui reaktivitas bottom ash dibandingkan dengan *pozzolan* lain yaitu fly ash Petrokimia (kelas F).

Peralatan yang dipergunakan :

1. Timbangan
2. Gelas ukur
3. Tempat pengaduk
4. Alat pengaduk
5. Alat perojok
6. Cetakan mortar silinder diameter 5 cm dantinggi 10 cm
7. Alat *steam curing*

### Bahan yang diperlukan :

1. bottom ash dan fly ash
2. Kapur ( $\text{CaOH}_2$ )
3. Pasir dengan gradasi standar
4. Air

### Prosedur pelaksanaan :

1. Siapkan dan timbang material kurang lebih untuk 3 benda uji silinder mortar 5 cm x 10 cm. Dengan proporsi berat campuran 4% kapur, 24% *bottom ash*, dan 72% pasir dalam kondisi SSD.



**Gambar 3.15** Material uji reaktivitas

2. Tentukan kadar air jenuh material kapur dan bottom ash sesuai ASTM D 1557-02 dengan persamaan

$$w_{sat} = \frac{(\gamma_w)G_s - \gamma_d}{(\gamma_d)G_s} \times 100 \dots (3.15)$$

Dimana:

$w_{sat}$  = Kadar air jenuh material, %

$\gamma_w$  = Berat volume air, 1 gr/cm<sup>3</sup> pada suhu 20°C

$\gamma_d$  = Berat volume kering material, gr/cm<sup>3</sup>

$G_s$  = Berat jenis material, gr/cm<sup>3</sup>

3. Timbang air sesuai dengan kadar jenuh masing-masing material.



4. Campur *bottom ash*, kapur, dan pasir dan Aduk sampai homogen.
5. Tambahkan air yang sudah ditimbang sedikit demi sedikit sambil tetap diaduk seperti sampai tercapai kondisi jenuh material.
6. Setelah jenuh, masukkan campuran kedalam cetakan setiap  $\frac{1}{3}$  bagian, kemudian setiap bagian dirojak 56 kali dengan alat pemadat sesuai metode C ASTM D 1557-02



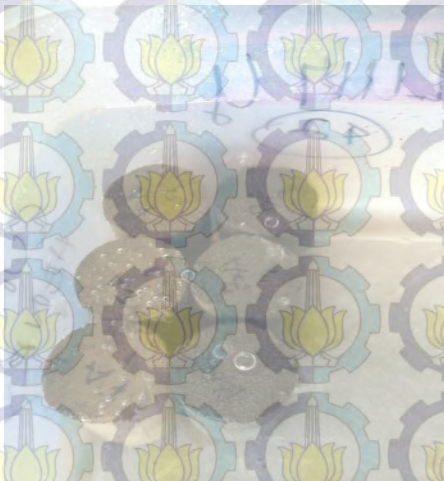
**Gambar 3.16** Perojokan uji reaktivitas

7. Setelah penuh, permukaan diratakan.
8. Cetakan kemudian dilepas perlahan-lahan karena campuran merupakan *dry mix* dan rawan rapuh.
9. Setelah dilepas, mortar diletakkan pada tempat yang datar. Kemudian langsung dilakukan *curing* dengan memasukkan kedalam alat *steam* dengan suhu  $38 \pm 2^{\circ}\text{C}$  selama 7 hari.



**Gambar 3.17** Curing mortar uji reaktivitas

10. Setelah 7 hari, mortar dikeluarkan dan ditimbang, kemudian direndam selama 4 jam di dalam air.



**Gambar 3.18** Perendaman mortar uji reaktivitas

11. Setelah direndam mortar dikeringkan selama 1 jam kemudian di-*capping* lalu dilakukan uji kuat tekan.
12. Lakukan hal yang sama terhadap fly ash. kemudian bandingkan reaktivitas antara *bottom ash* dengan *fly ash*.

Pengujian reaktivitas juga dilakukan pada SCBA dan beberapa variasi campuran material dasar paving geopolimer. Selain dilakukan rektivitas secara manual dengan parameter kuat tekan, pengujian reaktivitas juga dilakukan di Laboratorium Pengujian TEKMIRA (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batu Bara) Bandung.

### **3.13. Analisa Pengujian TCLP Paving Geopolimer**

Uji TCLP (*Toxicity characteristic Leaching Procedure*) dilakukan pada sisa campuran paving geopolimer dengan hasil kuat tekan maksimum. Tujuan pengujian ini untuk mengidentifikasi limbah padat yang mengandung unsur-unsur tertentu. Dengan pengujian ini diharapkan dapat diketahui bahwa material tersebut aman dari unsur kimia berbahaya sehingga tidak merusak lingkungan. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.

### **3.14. Analisa Kesesuaian Hasil Uji dengan Peraturan**

Dari seluruh hasil pengujian benda uji, kemudian dilakukan pengecekan kesesuaian dengan peraturan atau pedoman yang dipergunakan, dalam hal ini yaitu mengacu pada SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (paving block) dan SNI 03- 0349-1989 tentang bata beton untuk pasangan dinding. Sehingga dapat diketahui apakah benda uji yang dibuat memenuhi persyaratan atau tidak.

### **3.15. Analisa Hasil Penelitian**

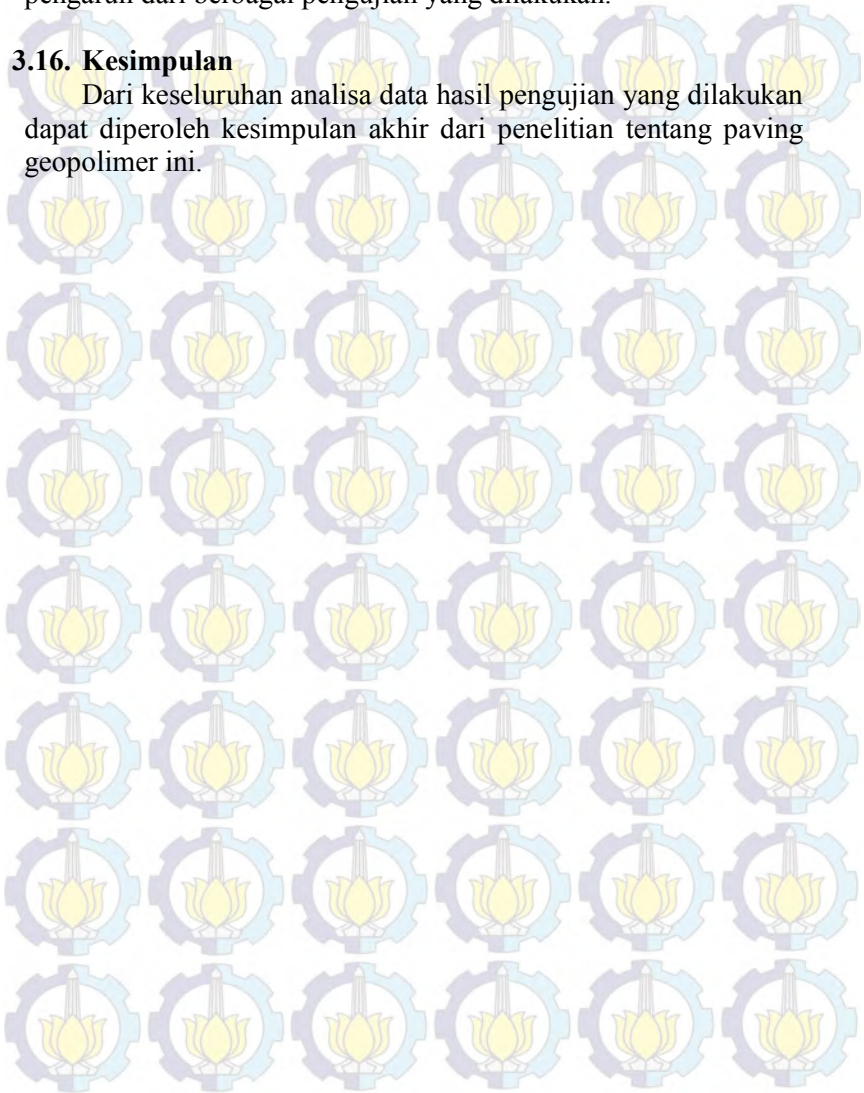
Analisa hasil pengujian dilakukan setiap kali melakukan percobaan atau setelah pengujian selesai dilakukan. Data hasil pengujian diolah kemudian diinterpretasikan secara analitis dan realistik. Dilakukan pula analisa hubungan antara pengujian satu



dengan yang lain sehingga diketahui kecenderungan atau pengaruh dari berbagai pengujian yang dilakukan.

### **3.16. Kesimpulan**

Dari keseluruhan analisa data hasil pengujian yang dilakukan dapat diperoleh kesimpulan akhir dari penelitian tentang paving geopolimer ini.



## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN HASIL PENGUJIAN**

#### **4.1. Umum**

Dalam bab ini akan dibahas mengenai seluruh rangkaian kegiatan penelitian secara detail yang dilakukan di laboratorium maupun di lapangan. Untuk selanjutnya akan dilakukan analisa data sehingga dapat diperoleh hasil kesimpulan tentang penelitian ini.

Hasil analisa dari penelitian yang telah dilakukan meliputi dua hal utama, yaitu hasil analisa material (sifat fisik) dan hasil pengujian benda uji (sifat mekanik) berupa paving geopolimer. Data hasil penelitian dan analisa akan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel sehingga lebih mudah untuk dipahami.

#### **4.2. Analisa Material**

Analisa material dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan kimia material tersebut, sehingga dapat diketahui apakah material tersebut layak digunakan untuk membuat paving geopolimer atau tidak. Analisa sifat fisik berupa pengujian berat jenis material dan analisa ayakan dll. Sedangkan analisa sifat kimia dilakukan dengan pengujian XRD (*X-ray Diffraction*), XRF (*X-ray Fluorescence*), pengujian reaktivitas material, SEM (*Scanning Electron Microscopy*), dan TCLP (*Toxicity characteristic Leaching Procedure*).

#### 4.2.1. Analisa *Bottom Ash*

##### 4.2.1.1. Analisa Berat Jenis *Bottom Ash*

**Tabel 4.1** Berat jenis *bottom ash*

Percobaan Nomor	1	2
Berat Labu + <i>Bottom Ash</i> + Air ( $W_1$ )	1395 gr	1390 gr
Berat <i>Bottom Ash</i>	250 gr	250 gr
Berat Labu + Air ( $W_2$ )	1250 gr	1250 gr
Berat Jenis <i>Bottom Ash</i>	2.38	2.27
Rata-rata	2.33 gr/cm <sup>3</sup>	

Dari data **Tabel 4.1** ditunjukkan bahwa berat jenis rata-rata *bottom ash* sebesar 2.33 gr/cm<sup>3</sup>. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa berat jenis *bottom ash* lebih kecil bila dibandingkan berat jenis agregat kasar yaitu sebesar 2.83 gr/cm<sup>3</sup> dan agregat halus sebesar 2.72 gr/cm<sup>3</sup>.

##### 4.2.1.2. Analisa XRD (*X-ray Diffraction*) *Bottom Ash*

Analisa XRD (*X-ray Diffraction*) pada *bottom ash* dilakukan untuk mengetahui berbagai jenis mineral yang terkandung pada material tersebut. Pada **Tabel 4.2** dan **Tabel 4.3** masing-masing akan ditunjukkan hasil dari analisa *bottom ash* dengan campuran ter dan *bottom ash* tanpa campuran ter.

**Tabel 4.2** Analisa XRD *bottom ash* dengan campuran ter

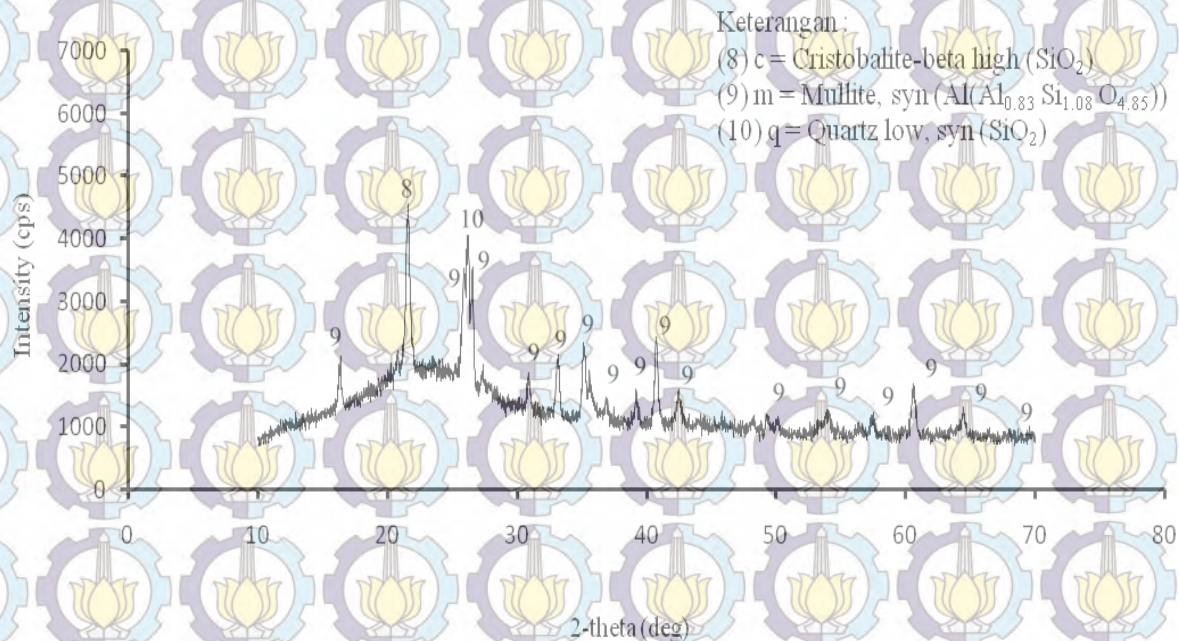
Notasi	Nama Mineral	Rumus Kimia	Komposisi (%)
c	cristobalite-beta high	Si O <sub>2</sub>	14.5
Mu	Mullite, syn	Al ( Al <sub>0.83</sub> Si <sub>1.08</sub> O <sub>4.85</sub> )	71
q	Quartz low, syn	Si O <sub>2</sub>	15



**Tabel 4.3** Analisa XRD *bottom ash* tanpa campuran ter

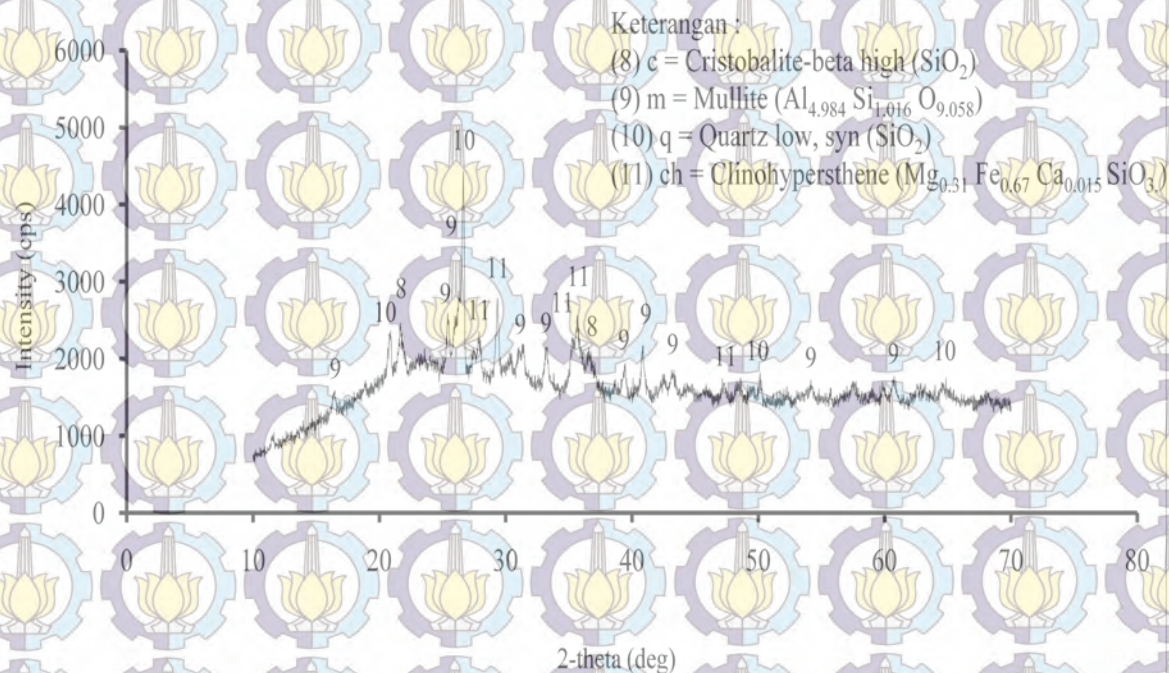
Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Komposisi (%)
m	Mullite, syn	$\text{Al}_{4,984} \text{Si}_{1,016} \text{O}_{9,508}$	41
q	Quartz low, syn	$\text{SiO}_2$	33
c	Cristobalite-beta high	$\text{SiO}_2$	6
ch	Clinohypersthene	$\text{Mg}_{0,31} \text{Fe}_{0,67} \text{Ca}_{0,015} \text{SiO}_3$	20

Untuk mengetahui lebih jelas juga akan ditampilkan hasil pengujian XRD (*X-ray Diffraction*) material *bottom ash* yang telah tercampur ter atau minyak aspal atau sering disebut dengan *coal ash* dan *bottom ash* tanpa campuran material ter dalam bentuk grafik, masing-masing dapat dilihat pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2**.



**Gambar 4.1** Grafik Analisa XRD *Bottom Ash* dengan Campuran Ter





Gambar 4.2 Grafik Analisa XRD *Bottom Ash* Tanpa Campuran Ter



Dari hasil analisa yang ditunjukkan pada **Tabel 4.2** dapat diperoleh kesimpulan bahwa pada *Bottom ash* yang tercampur material ter memiliki beberapa kandungan mineral antara lain mullite, cristobalite-beta high dan quartz low. Sedangkan hasil analisa *bottom ash* yang tidak tercampur material ter yang ditunjukkan pada **Tabel 4.3**, memiliki kandungan mineral yang serupa dengan *bottom ash* dengan campuran ter, akan tetapi terdapat mineral tambahan berupa clinohypersthene.

Pada analisa uji XRD *bottom ash* dengan campuran ter yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1** dapat diketahui *peak intensity* tertinggi berupa mineral cristobalite-beta high yaitu sebesar 4700 cps. Sedangkan pada *bottom ash* tanpa campuran ter yang ditunjuk **Gambar 4.2** didominasi mineral quartz low dengan *peak intensity* sebesar 4400 cps.

#### 4.2.1.3. Analisa XRF (X-ray Fluorescence) Bottom Ash

Analisa XRF (X-ray Fluorescence) yang dilakukan terhadap material *bottom ash* dapat dilihat pada **Tabel 4.4**. Analisa ini dimaksudkan untuk menyelidiki berbagai senyawa kimia yang terkandung didalam material tersebut.

**Tabel 4.4** Analisa XRF *Bottom Ash* Tanpa Campuran Ter

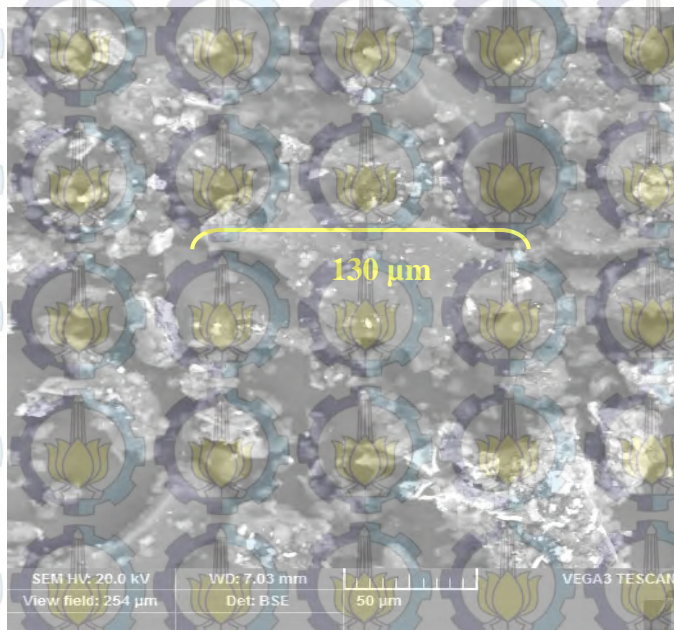
Senyawa	%
SiO <sub>2</sub>	39.96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	44.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.34
SO <sub>3</sub>	0.58
CaO	1.67
MgO	5.04
Na <sub>2</sub> O	0.46
K <sub>2</sub> O	0.26
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.11

Dari hasil analisa yang terdapat pada **Tabel 4.4** diketahui bahwa kandungan senyawa kimia yang terdapat pada material *bottom ash* didominasi oleh senyawa  $\text{SiO}_2$  (Silikon oksida),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Aluminium oksida), dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Fero oksida).

Jumlah total dari persentase dari ketiga senyawa tersebut melebihi 70% dan jumlah senyawa  $\text{CaO}$  kurang dari 5% sehingga berdasarkan ASTM C618 material *bottom ash* tersebut termasuk kedalam material *pozzoland* kelas F.

#### 4.2.1.4. Analisa SEM (*Scanning Electron Macroscopy*) *Bottom Ash*

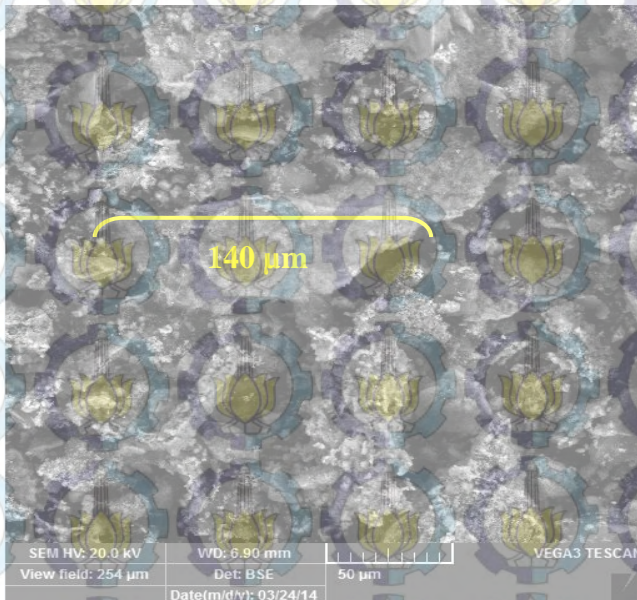
Hasil analisa SEM pada *bottom ash* dengan perbesaran sebesar  $50\ \mu\text{m}$  dapat dilihat pada **Gambar 4.3** dan **Gambar 4.4** masing-masing untuk *bottom ash* yang tercampur material ter dan *bottom ash* yang tidak tercampur dengan ter.



**Gambar 4.3** Hasil Pengujian SEM *Bottom Ash* dengan Campuran Ter

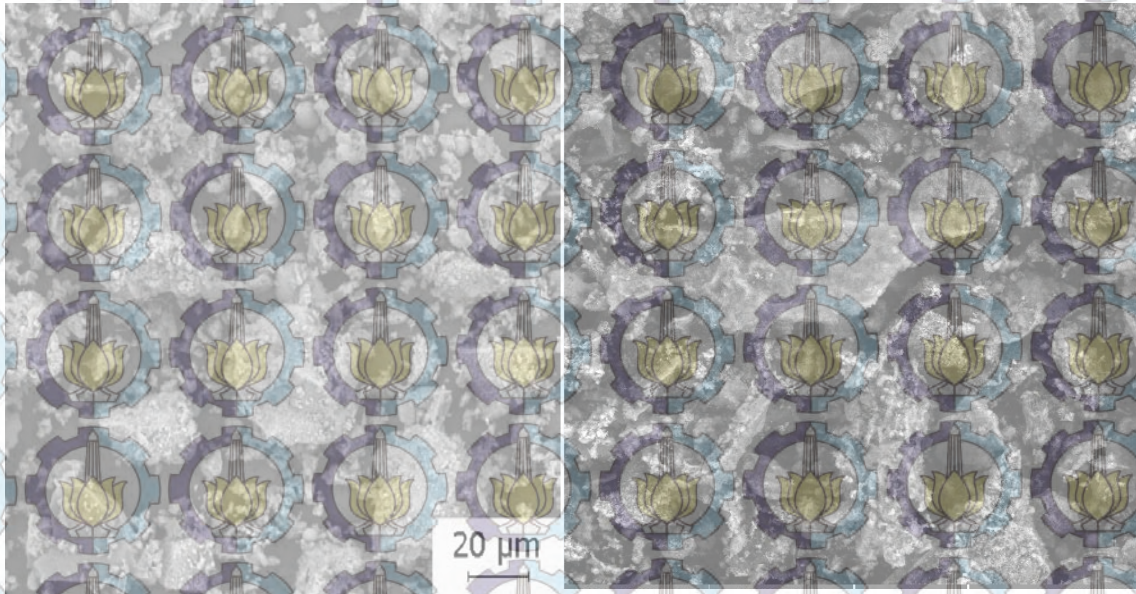
Dari gambar hasil pengujian SEM pada material *bottom ash* dengan campuran ter dapat dilihat bahwa partikel terbesar berukuran panjang 130  $\mu\text{m}$ . Pori material terlihat lebih halus, warna lebih gelap dengan butiran kecil menempel material yang dimungkinkan berupa quartz.

Sedangkan pada **Gambar 4.4** dapat dilihat visualisasi partikel beragam. Dimungkinkan karena tidak mengandung material ter material terlihat kasar, dengan pori-pori yang beragam dan warna lebih terang dari pada yang tercampur ter, maka ikatan geopolimerisasi diharapkan lebih baik daripada *bottom ash* tanpa campuran ter. Butiran maksimum dapat diketahui berukuran 140  $\mu\text{m}$ .



**Gambar 4.4** Hasil Pengujian SEM *Bottom Ash* tanpa Campuran Ter





**Gambar 4.5** Perbandingan mineral penyusun Material dengan pengujian SEM

a) *Cement powder* Gamelli et.al (2001) dan b) *bottom ash* tanpa ter

Dari hasil SEM **Gambar 4.5** dapat dilihat bentuk mineral dari *bottom ash* yang tidak tercampur ter yang di bandingkan dengan bentuk mineral quartz pada bubuk semen. Kedua bentuk mineral memiliki kemiripan dan dimungkinkan mineral pada *bottom ash* juga berupa mineral quartz yang mengandung  $\text{SiO}_2$  reaktif.

#### 4.2.2. Analisa SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*)

##### 4.2.2.1. Analisa Berat Jenis SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*)

Analisa fisik yang dilakukan pada material SCBA yaitu dikalsinasi  $850^\circ\text{C}$  selama 7 jam dengan mesin *furnace*.

**Tabel 4.5** Berat Jenis SCBA Setelah Dikalsinasi  $850^\circ\text{C}$  7 Jam

Percobaan Nomor	1	2
Berat serbuk kaca ( $W_1$ ) (gram)	250	250
Berat serbuk kaca + air + labu takar ( $W_2$ ) (gram)	1375	1380
Berat labu takar + air ( $W_3$ ) (gram)	1250	1250
Berat jenis ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )	2.00	2.08
Rata-rata ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )	2.04 ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	

Dari **Tabel 4.5** diperoleh data hasil pengujian berat jenis SCBA rata-rata sebesar  $2.04 \text{ gr}/\text{cm}^3$ . Sehingga berat jenis SCBA lebih kecil dibandingkan dengan berat jenis semen portland yaitu sebesar  $3.14 \text{ gr}/\text{cm}^3$  ataupun berat *fly ash* F sebesar  $2.38 \text{ gr}/\text{cm}^3$

##### 4.2.2.2. Analisa XRD SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*)

Analisa XRD dilakukan untuk mengetahui berbagai mineral yang terkandung dalam SCBA sebelum atau setelah dikalsinasi dengan baerbagai suhu antara lain  $450^\circ \text{C}$  selama 6 jam,  $600^\circ \text{C}$  selama 3 jam, dan  $850^\circ \text{C}$  masing-masing selama 3 jam dan 7 jam.

Kalsinasi pada beberapa macam suhu ini diharapkan agar dapat diketahui suhu optimal pembakaran yang harus dilakukan



sehingga material ini bersifat amorf dan dapat digunakan sebagai campuran dalam pembuatan paving geopolimer.

**Tabel 4.6** Kalsinasi SCBA pada Suhu 450°C Selama 6 Jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Komposisi (%)
Q	Quartz	SiO <sub>2</sub>	44.02
cl	Cristobalite low	SiO <sub>2</sub>	36.23
ca	Calcite	CaCO <sub>3</sub>	8.36
a	Albite	Na(Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	11.29

**Tabel 4.7** Kalsinasi SCBA pada Suhu 600°C Selama 3 Jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Komposisi (%)
Q	Quartz	SiO <sub>2</sub>	35.84
cl	Cristobalite low	SiO <sub>2</sub>	55.14
a	Albite	Na(Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	9.02

**Tabel 4.8** Kalsinasi SCBA pada Suhu 850°C Selama 3 Jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Komposisi (%)
cl	Cristobalite low, syn	SiO <sub>2</sub>	47
qa	Quartz alpha	SiO <sub>2</sub>	13
al	Alumunium oxide	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16

**Tabel 4.9** Kalsinasi SCBA pada Suhu 850°C Selama 7 Jam

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Komposisi (%)
Cl	Cristobalite low, syn	SiO <sub>2</sub>	36.23
A	Albite	Na(Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	11.39
Qa	Quartz alpha	SiO <sub>2</sub>	44.02



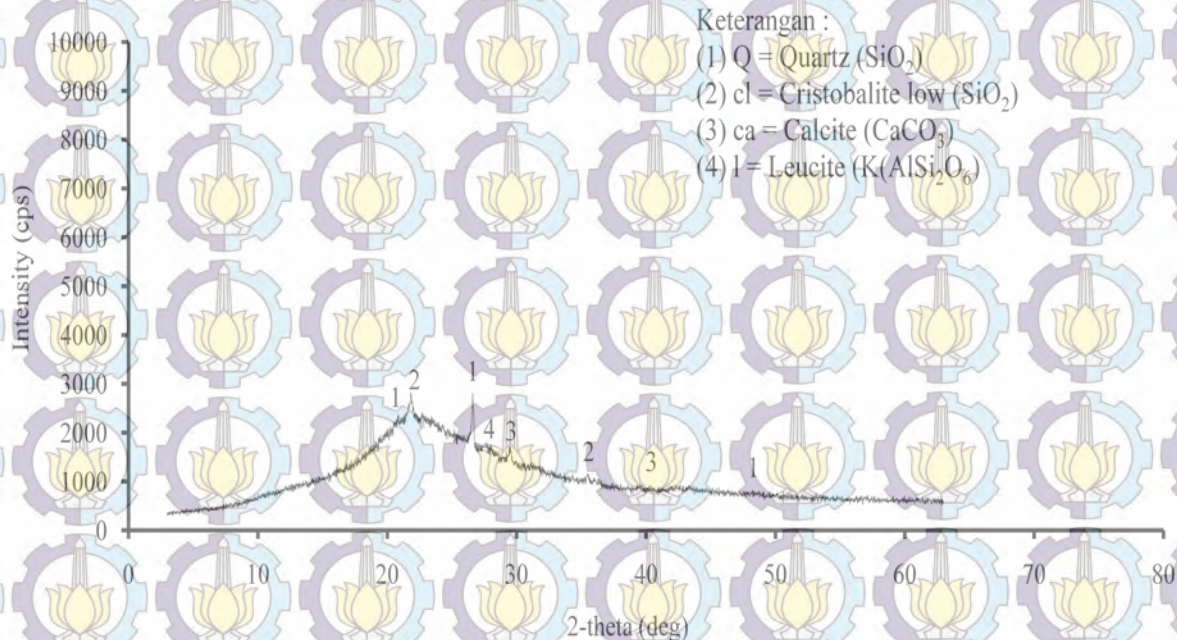
Dalam penelitian sebelumnya, Wijaya (2014) dengan material SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*) yang sama juga telah dilakukan analisa XRD sebelum dilakukan pembakaran atau kalsinasi. Hasil dari analisa tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.10**.

**Tabel 4.10** SCBA Sebelum Dilakukan Kalsinasi

Kode	Nama Mineral	Rumus Kimia	Jumlah (%)
Q	Quartz	$\text{SiO}_2$	34.66
cl	Cristobalite low	$\text{SiO}_2$	40.25
ca	Calcite	$\text{CaCO}_3$	21.61
l	Leucite	$\text{K(AlSi}_2\text{O}_6)$	3.48

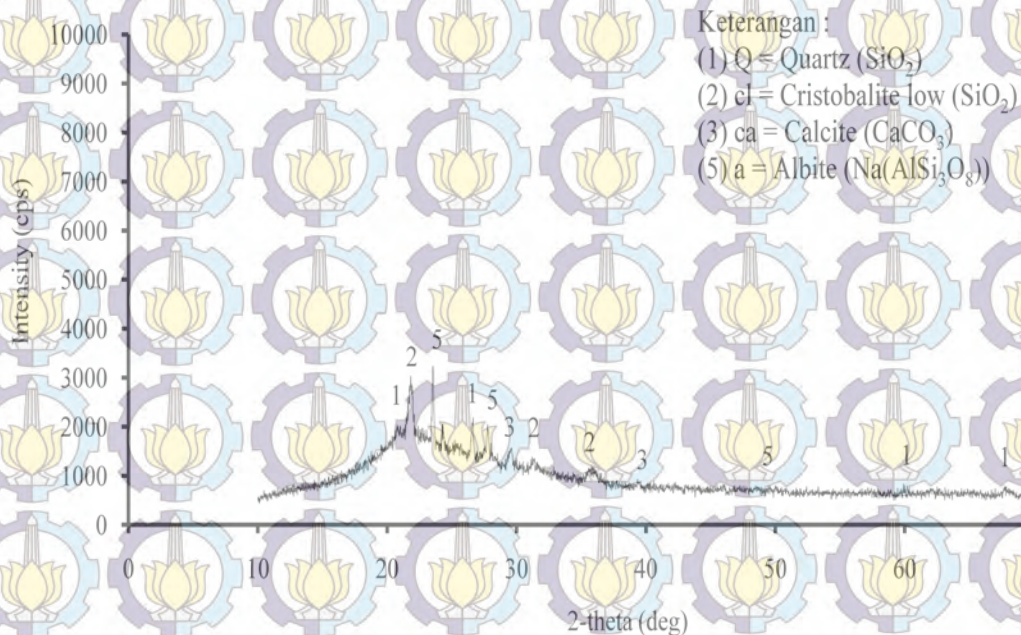
Untuk mengetahui kondisi mineral yang terkandung pada material SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*) secara lebih jelas juga akan ditunjukkan pada beberapa grafik hasil dari pengujian XRD pada material SCBA. Dengan demikian akan diketahui hasil pembakaran paling optimal yang akan dilakukan pada material SCBA sehingga diperoleh sifat paling amorf untuk dapat bergeopolimerisasi secara maksimal.

Pada **Gambar 4.6** dapat dilihat grafik hasil pengujian XRD pada material SCBA sebelum dilakukan kalsinasi atau pembakaran dengan mesin *furnace*. Sedangkan pada **Gambar 4.7** sampai dengan **Gambar 4.10** masing-masing merupakan grafik hasil pengujian XRD pada material SCBA pada suhu  $450^\circ\text{C}$  selama 6 jam,  $600^\circ\text{C}$  selama 3 jam,  $850^\circ\text{C}$  selama 3 jam, dan  $850^\circ\text{C}$  selama 7 jam. Selain itu juga ditunjukkan korelasi atau perbandingan antar grafik dari berbagai suhu tersebut pada **Gambar 4.11**.



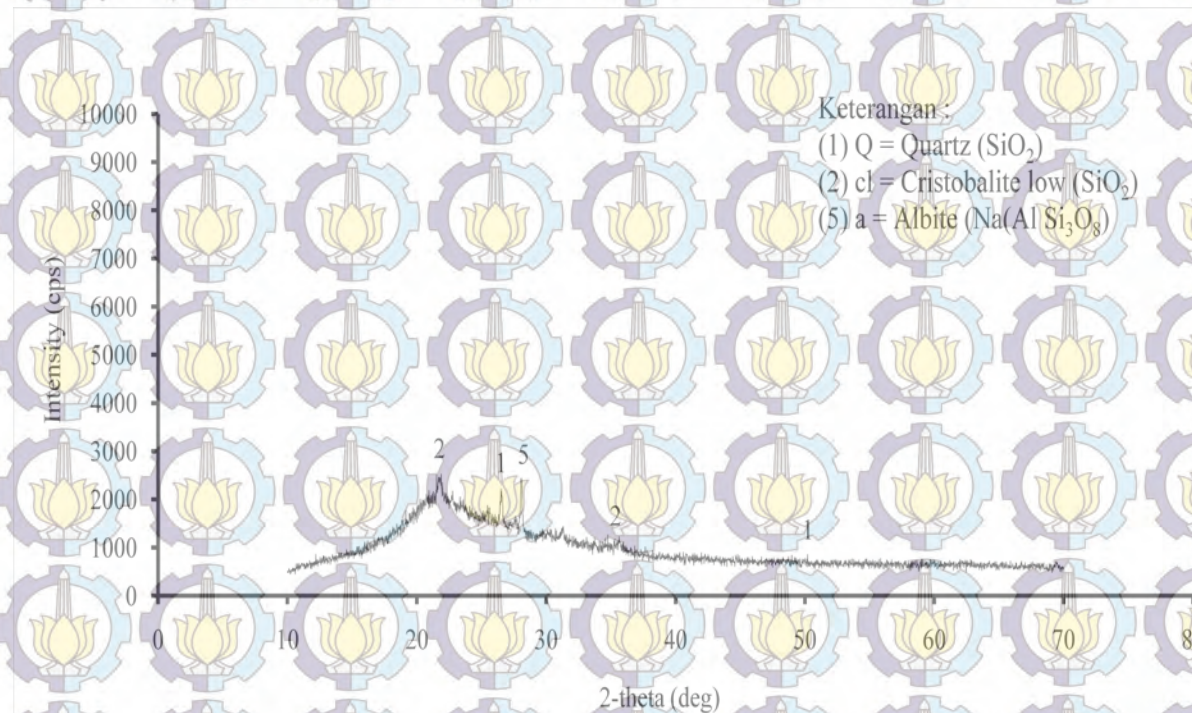
Gambar 4.6 Grafik Analisa XRD SCBA Sebelum Dikalsinasi





**Gambar 4.7** Grafik Analisa XRD SCBA dengan Suhu 450°C Selama 6 Jam



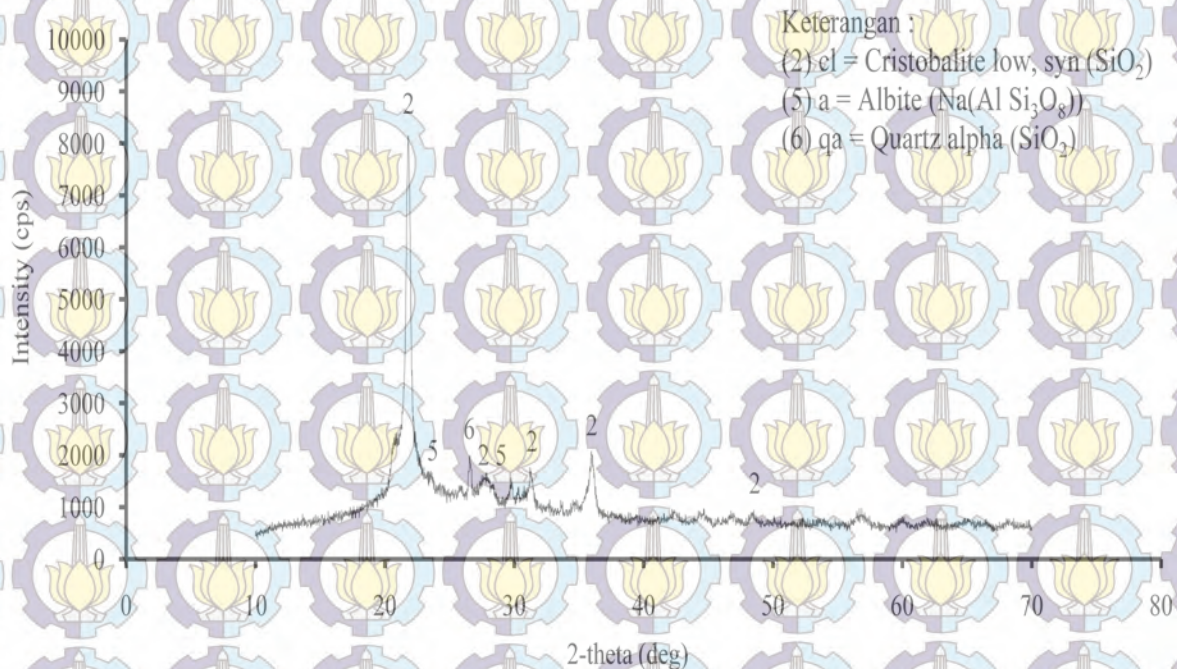


Gambar 4.8 Grafik Analisa XRD SCBA dengan Suhu 600°C Selama 3 Jam



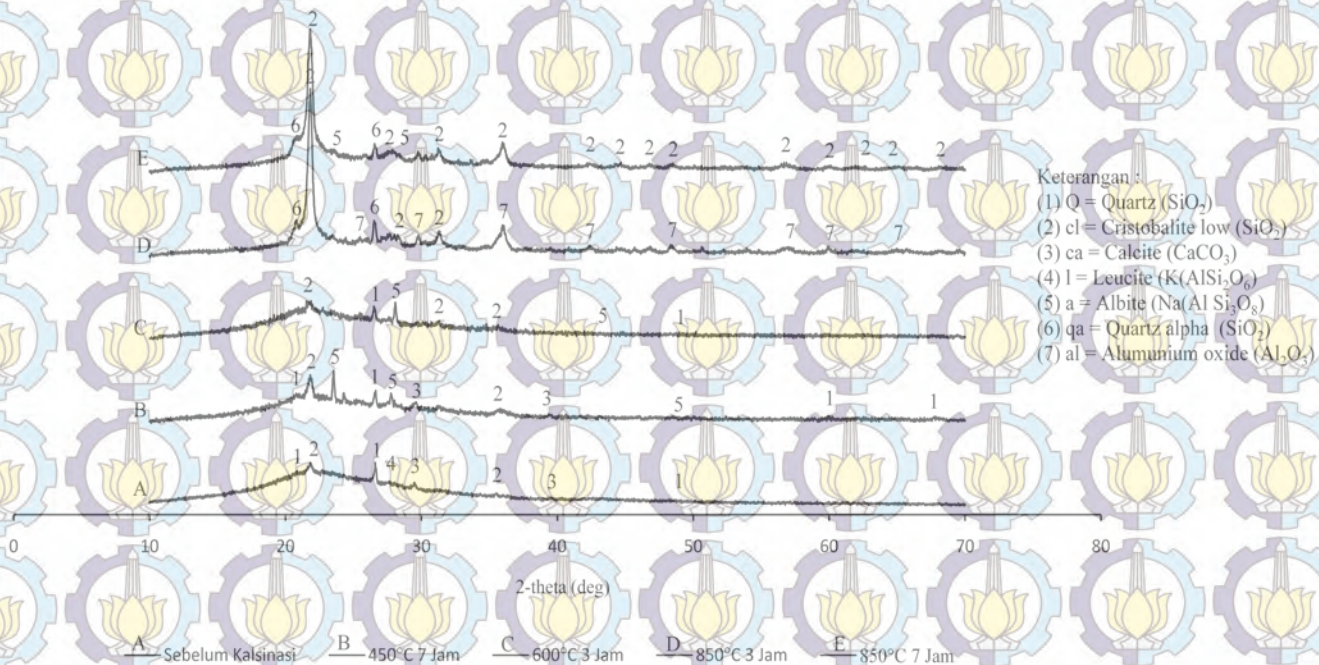
**Gambar 4.9** Grafik Analisa XRD SCBA dengan Suhu 850°C Selama 3 Jam





Gambar 4.10 Grafik Analisa XRD SCBA dengan Suhu 850°C Selama 7 Jam





**Gambar 4.11** Grafik Perbandingan Analisa XRD Suhu Pembakaran SCBA

Dari keseluruhan hasil analisa XRD diketahui bahwa sebelum dilakukan pembakaran atau kalsinasi pada material SCBA, material tersebut mengandung beberapa mineral antara lain Quartz ( $\text{SiO}_2$ ), Cristobalite low ( $\text{SiO}_2$ ), Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), dan Leucite ( $\text{K(AlSi}_2\text{O}_6)$ ). Sedangkan setelah dilakukan kalsinasi pada suhu  $450^\circ\text{C}$ ,  $600^\circ\text{C}$  dan  $850^\circ\text{C}$  material SCBA mengandung mineral yang didominasi  $\text{SiO}_2$  (Cristobalite dan quartz-alpha) serta tidak mengandung unsur  $\text{CaCO}_3$ . Sehingga diharapkan dapat disimpulkan bahwa material SCBA bersifat lebih reaktif bergeopolimerisasi setelah dilakukan kalsinasi dengan mesin *furnace* dibanding sebelum dilakukan kalsinasi.

Pada **Gambar 4.7** sampai dengan **Gambar 4.10** dapat dilihat bahwa *peak intensity* terbesar terjadi pada material SCBA yang dikalsinasi dengan suhu  $850^\circ\text{C}$  selama 3 jam yaitu sebesar 9456 cps sedangkan *peak intensity* terendah terjadi pada material SCBA yang dikalsinasi pada suhu  $600^\circ\text{C}$  selama 3 jam, yaitu sebesar 2523 cps. Untuk kalsinasi pada suhu  $850^\circ\text{C}$  selama 7 jam dan suhu  $450^\circ\text{C}$  selama 6 jam masing-masing memiliki *peak intensity* sebesar 8150 cps dan 3240 cps.

Sebelum dilakukan kalsinasi dengan mesin *furnace* juga telah dilakukan analisa TGA (*Thermo Gravimetric Analyzer*) pada material SCBA. Hal ini dilakukan untuk mengetahui suhu pembakaran optimum yang dilakukan pada material tersebut sehingga kondisi material menjadi amorf.

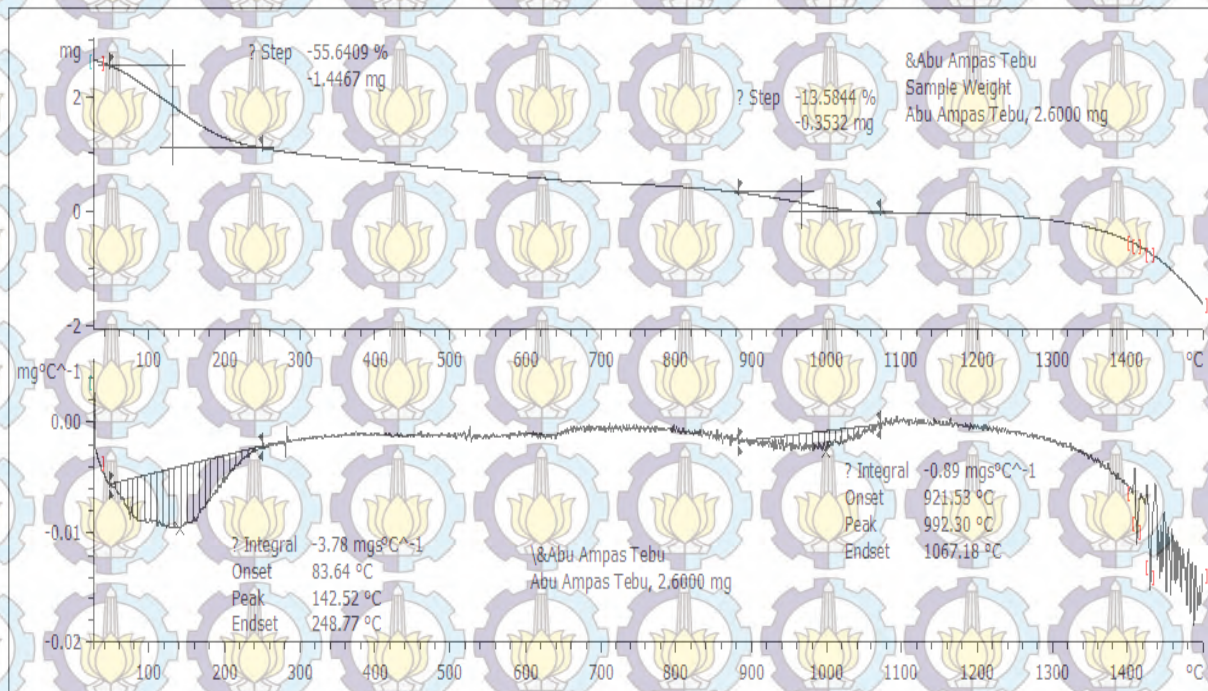
Dari hasil analisa TGA (*Thermo Gravimetric Analyzer*) yang dilakukan diperoleh data berupa suhu izin kalsinasi pada material SCBA atau abu tebu untuk kondisi amorf yaitu antara  $880^\circ\text{C}$  sampai dengan  $1060^\circ\text{C}$ . Hasil analisa dapat dilihat pada **Gambar 4.12** tentang grafik penurunan reaksi hidrosilasi pada SCBA dan **Gambar 4.13** tentang grafik korelasi berat sampel dan *heat flow* terhadap material SCBA.

Kesimpulan akhir yang didapat dari hasil analisa kimia untuk suhu pembakaran terhadap SCBA yaitu, material tersebut harus dibakar dengan mesin *furnace* dengan suhu  $850^\circ\text{C}$  selama 7 jam merujuk pada hasil uji TGA (*Thermo Gravimetric Analyzer*).



74

exo

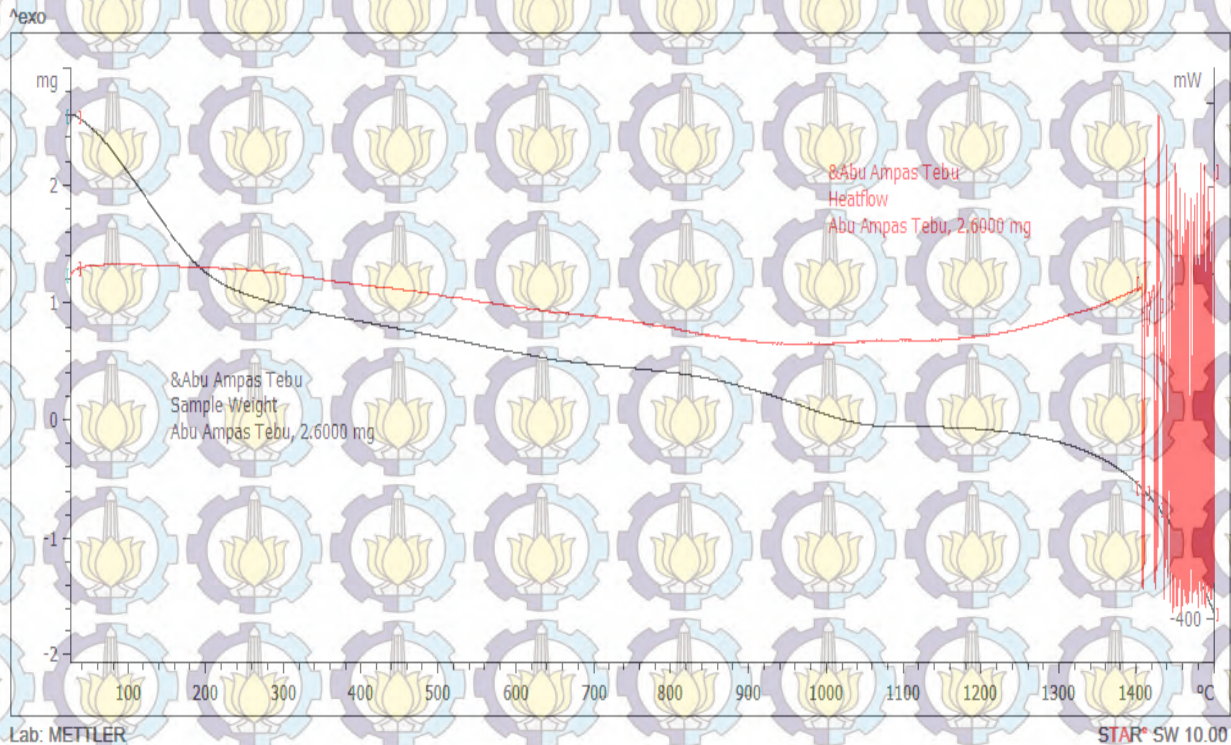


Lab: METTLER

Gambar 4.12 Grafik Phurunan (*Derivative*) pada SCBA

STAR® SW 10.00





**Gambar 4.13** Grafik hasil analisa Pengujian TGA SCBA (Weight & Heatflow)

#### 4.2.2.3. Analisa XRF SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*)

Analisa XRF terhadap material SCBA telah dilakukan pada SCBA yang telah dikalsinasi pada mesin furnace selama 7 jam pada suhu  $850^{\circ}\text{C}$ . Hasil analisa XRF tersebut ditunjukkan pada **Tabel 4.11**.

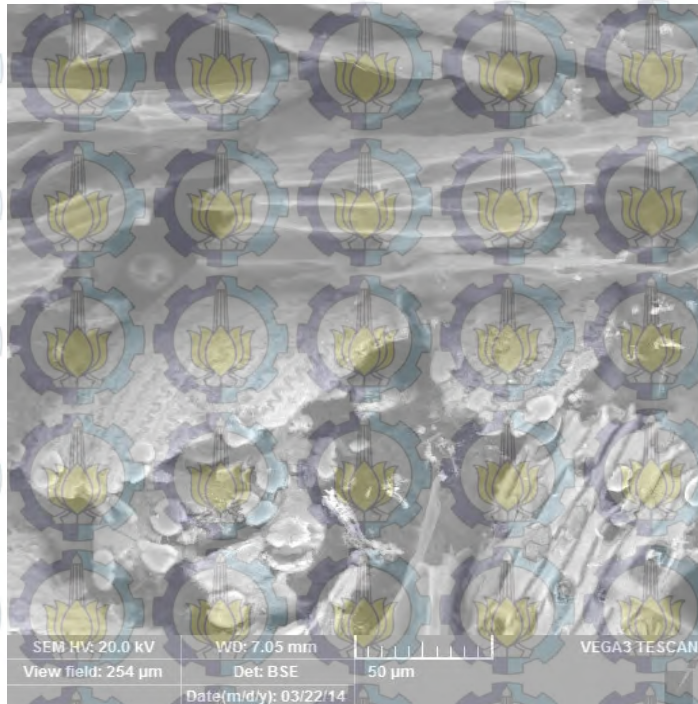
**Tabel 4.11** Analisa XRF SCBA Dibakar  $850^{\circ}$  7 Jam

Senyawa	%
$\text{SiO}_2$	83.00
$\text{Al}_2\text{O}_3$	3.76
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.94
$\text{TiO}_2$	0.15
$\text{CaO}$	3.62
$\text{MgO}$	1.80
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0.01
$\text{K}_2\text{O}$	2.76
$\text{Na}_2\text{O}$	0.42
$\text{SO}_3$	0.06
$\text{Mn}_2\text{O}_3$	0.16
$\text{P}_2\text{O}_5$	1.73

Dari hasil analisa XRF pada **Tabel 4.11** diperoleh hasil bahwa senyawa kimia didominasi  $\text{SiO}_2$  (Silikon oksida),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Aluminium oksida), dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Fero oksida). Persentase dari jumlah ketiga senyawa tersebut melebihi 70% serta jumlah senyawa  $\text{CaO}$  kurang dari 5%, namun karena material tersebut bersifat alami atau berasal dari proses pembakaran sehingga berdasarkan ASTM C 618 material tersebut termasuk kedalam material *pozzoland* kelas N.

#### 4.2.2.4. Analisa SEM SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*)

Analisa SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dilakukan terhadap material SCBA sebelum dilakukan kalsinasi dan SCBA yang telah dikalsinasi dengan mesin *furnace* dengan suhu 850°C selama 7 jam masing-masing dengan perbesaran 50  $\mu\text{m}$ .

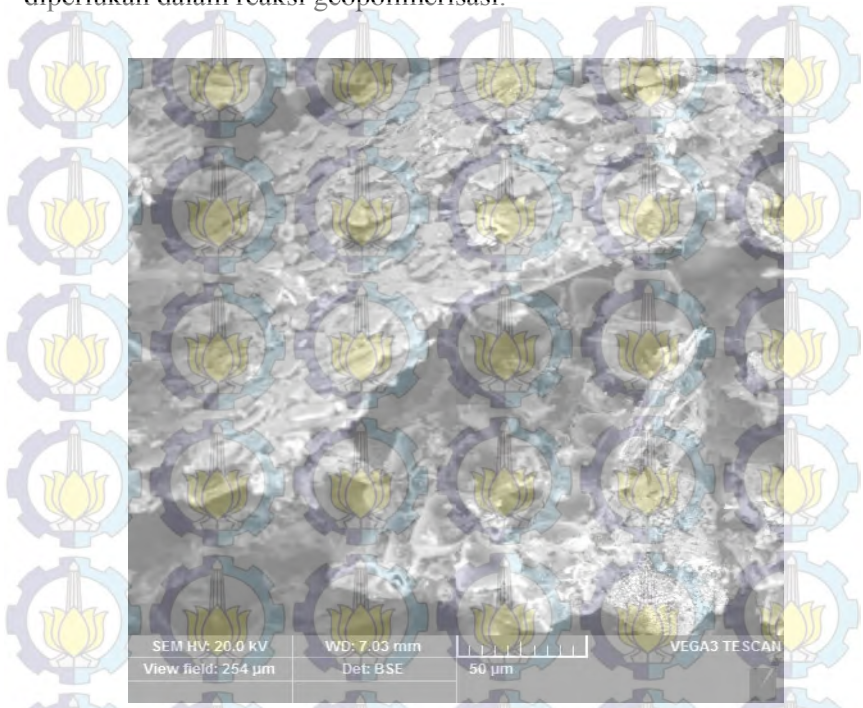


**Gambar 4.14** Hasil Analisa SEM SCBA Sebelum Dikalsinasi

Dari gambar analisa SEM (*Scanning Electron Microscopy*) terhadap material SCBA diketahui bahwa SCBA yang belum dikalsinasi pada **Gambar 4.14** memiliki tekstur lempengan yang hancur berongga serta banyak partikel-partikel kecil yang tersebar

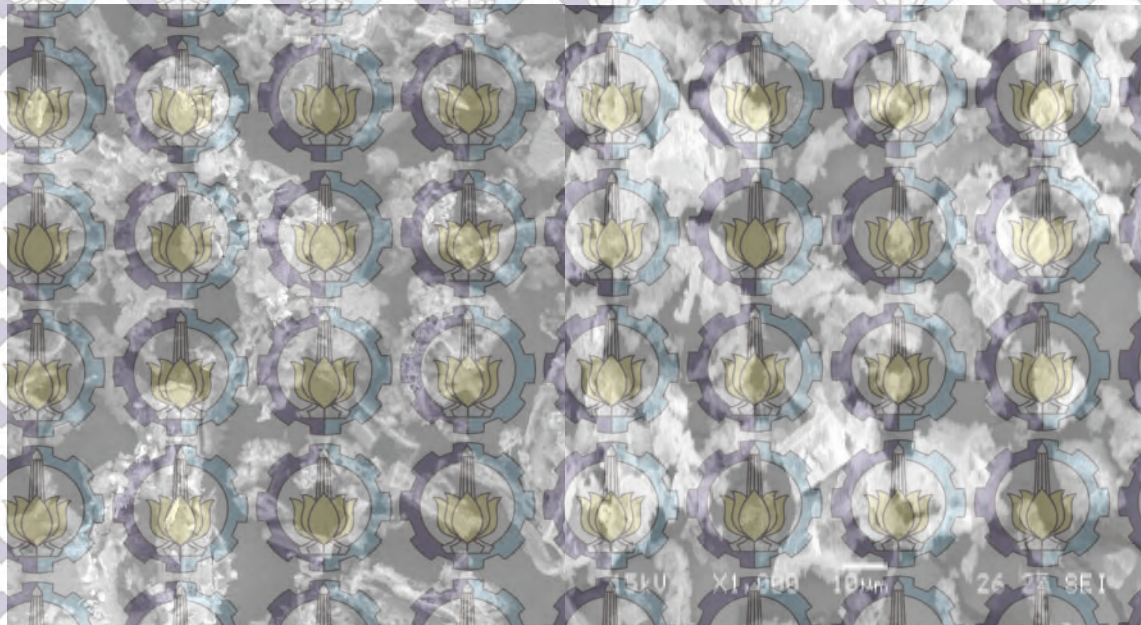


berupa Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) atau karbon yang sebenarnya tidak diperlukan dalam reaksi geopolimerisasi.



**Gambar 4.15** Hasil Analisa SEM SCBA Setelah Dikalsinasi dengan Suhu  $850^{\circ}\text{C}$  7 Jam

Sedangkan pada SCBA yang telah dikalsinasi dengan suhu  $850^{\circ}\text{C}$  selama 7 jam, partikel-partikel kecil seperti Calcite yang tidak diperlukan dalam geopolimerisasi telah hilang seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.15**. Tekstur partikel berupa lempeng yang solid, Sehingga memang diperlukan pembakaran atau kalsinasi pada material SCBA. Pada **Gambar 4.16** dapat dilihat perbandingan betuk partikel SCBA yang dikalsinasi dengan suhu  $850^{\circ}\text{C}$  selama 7 Jam dengan SCBA pada jurnal penelitian terdahulu.

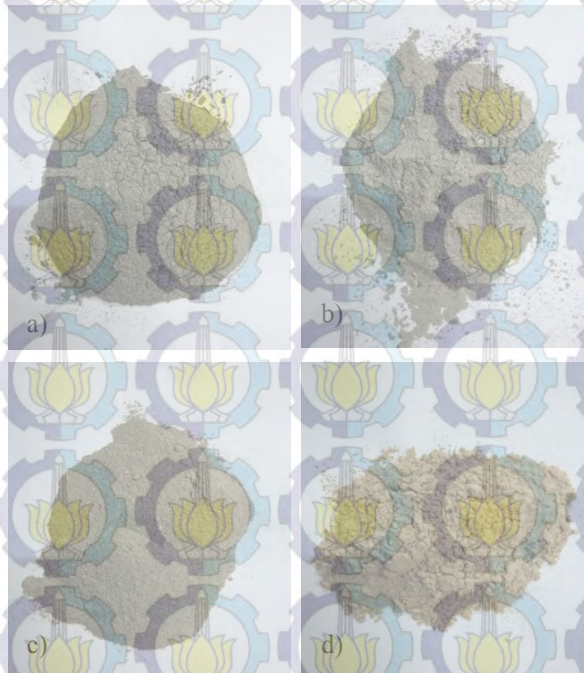


**Gambar 4.16** a) SEM SCBA Kalsinasi 850° C selama 7 Jam b) SCBA Kalsinasi 800°C (Govindarajan 2011)



Dari keseluruhan hasil analisa yang dilakukan terhadap SCBA (*Sugar Cane Bagasse Ash*) diperoleh kesimpulan bahwa SCBA yang dipergunakan adalah SCBA yang telah dikalsinasi dengan suhu  $850^{\circ}\text{C}$  selama 7 jam. Selain didasarkan pada hasil analisa pengujian TGA (*Thermo Gravitymetric Analysis*) pada SCBA sebelumnya, pemilihan penggunaan SCBA yang telah dikalsinasi pada suhu  $850^{\circ}\text{C}$  selama 7 jam juga didasarkan pada hasil penelitian sebelumnya (Rompas dkk, 2013).

Hasil penampakan fisik SCBA setelah dilakukan kalsinasi yang dapat dilihat pada **Gambar 4.17** menunjukkan warna SCBA yang paling mendekati adalah SCBA yang telah dikalsinasi pada suhu  $850^{\circ}\text{C}$  selama 7 jam.



**Gambar 4.17** Visualisasi Hasil Kalsinasi SCBA pada Suhu a)  $450^{\circ}\text{C}$  6 jam b)  $600^{\circ}\text{C}$  3 jam c)  $850^{\circ}\text{C}$  3 jam dan d)  $850^{\circ}\text{C}$  7 jam



### 4.2.3. Analisa Abu Batu

#### 4.2.3.1. Analisa Berat Jenis Abu Batu (ASTM C128-78)

Sebelum dilakukan pengujian berat jenis, pada material abu batu dibuat kondisi SSD terlebih dahulu. Hasil analisa berat jenis abu batu ditunjukkan pada **Tabel 4.12**.

**Tabel 4.12** Analisa Berat Jenis Abu Batu

Percobaan Nomor	1	2
Berat Abu batu SSD	500 gr	500 gr
Berat Labu + Air ( $W_2$ )	1250 gr	1250 gr
Berat Labu + Abu batu + Air ( $W_1$ )	1550	1545
BJ Abu Batu = $500/(500+W_2-W_1)$	2.50	2.44
BJ Rata-rata	2.47	

Dari hasil analisa berat jenis abu batu yang ditunjukkan pada **Tabel 4.12** didapatkan berat jenis sebesar 2.47 gr/cm<sup>3</sup>. sehingga memenuhi persyaratan untuk dipergunakan sebagai material *filler* pada paving geopolimer karena berdasarkan ASTM C128-78 berat jenis abu batu yang disyaratkan adalah yang berada dalam batas antara 2.4 gr/cm<sup>3</sup> sampai 2.7 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 4.2.3.2. Analisa Resapan Air Abu Batu (ASTM C128-93)

**Tabel 4.13** Analisa Kadar Air Resapan Abu Batu

Percobaan Nomor	1	2
Berat Abu batu SSD	500 gr	500 gr
Berat Abu Batu + Pan	615 gr	610 gr
Berat Pan	130 gr	130 gr
Berat Abu batu Oven ( $W_1$ )	485gr	480 gr
Air Resapan = $(500-W_1)/W_1 \times 100\%$	3.09%	4.17%
Kadar Air Resapan rata-rata	3.63%	

Dari hasil analisa kadar air resapan abu batu yang ditunjukkan pada **Tabel 4.13** disimpulkan bahwa nilai kadar air resapan abu batu memenuhi persyaratan sesuai ASTM C128-93 resapan air yang baik yaitu antara 1% sampai 4%.

#### 4.2.3.3. Analisa Kelembaban Abu Batu (ASTM C556-89)

Dari hasil analisa kelembaban abu batu diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.14**.

**Tabel 4.14** Analisa Kelembaban Abu Batu

Percobaan Nomor	1	2
Berat abu batu + pan	0.62 gr	0.62 gr
Berat pan	0.13 gr	0.135 gr
W <sub>2</sub> (abu batu oven)	0.49 gr	0.485 gr
W <sub>1</sub> (abu batu biasa)	0.5 gr	0.5 gr
Kelembaban	2.04%	3.09%
Kelembaban Rata-rata	2.57%	

Berdasarkan ASTM C 556-89 abu batu dinyatakan kering apabila diperoleh nilai kelembaban kurang dari 0.1%. Dari hasil analisa diperoleh nilai kelembaban sebesar 2.57% sehingga dapat diperoleh kesimpulan bahwa abu batu belum benar-benar kering. Perlu dilakukan pengeringan sampai air minimum bahkan kondisi 0% sebelum abu batu tersebut dipergunakan untuk *filler* pada pembuatan paving geopolimer.

#### 4.2.3.4. Analisa Berat Volume Abu Batu (ASTM C29-91)

Perhitungan berat volume terhadap abu batu dilakukan dengan dua metode, yaitu dengan perojokan dan dengan dijatuhkan atau dibanting tanpa dilakukan perojokan, dan untuk selanjutnya dilakukan perbandingan diantara kedua metode tersebut.

**Tabel 4.15** Analisa Berat Volume Abu Batu

Percobaan Nomor	1	2
Berat Silinder Kosong ( $W_1$ )	2.580 kg	2.580 kg
Berat Silinder+ Abu Batu ( $W_2$ )	7.365 kg	7.250 kg
Berat Abu Batu ( $W_2-W_1$ )	4.785 kg	4.670 kg
Volume Silinder	3 lt	3 lt
Berat Volume	1.60 kg/lt	1.56 kg/lt
Selisih Berat Volume	0.04 kg/lt=38.3 kg/m <sup>3</sup>	

Dari hasil analisa berat volume abu batu yang ditunjukkan pada **Tabel 4.15** diperoleh hasil nilai dari selisih berat volume sebesar 38.3 kg/m<sup>3</sup>. Berdasarkan ASTM C29-91 bahwa nilai selisih dari nilai berat volume antara percobaan yang dilakukan dengan rojokan dengan percobaan tanpa rojokan yang dilakukan oleh peneliti yang sama tidak boleh lebih dari 40 Kg/m<sup>3</sup>. Sehingga dapat disimpulkan bahwa abu batu tersebut memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai *filler* berdasarkan hasil analisa berat volume.

#### 4.2.3.5. Analisa Kadar Lumpur Abu Batu dengan Pencucian (ASTM C117-95)

**Tabel 4.16** Analisa Kadar Lumpur Abu Batu dengan metode Pencucian

Percobaan Nomor	1	2
Berat Abu Batu Kering ( $W_1$ )	500 gr	500 gr
Berat Abu Batu Bersih Kering ( $W_2$ )	452 gr	450 gr
Kadar Lumpur = $(W_1-W_2)/W_1 \times 100\%$	9.6%	10%
Rata - rata	9.8%	



Berdasarkan ASTM C33 batas maksimum kebersihan abu batu terhadap material yang lebih halus lolos ayakan no.200 (75 $\mu$ m) dalam hal ini adalah lumpur, untuk klasifikasi beton umum adalah sebesar 5% dari total sampel percobaan. Sedangkan dari hasil analisa yang ditunjukkan pada **Tabel 4.16** didapat nilai kandungan lumpur sebesar 9.8% karena memang material berupa abu hasil pecahan batu

#### 4.2.3.6. Analisa Kadar Lumpur Abu Batu dengan cara Pengendapan (ASTM C33-86)

**Tabel 4.17** Analisa Kadar Lumpur Abu Batu dengan metode Pengendapan

Percobaan Nomor	1	2
Tinggi Lumpur (h)	0.6 cm	0.5 cm
Tinggi Abu batu (H)	5.4 cm	5.5 cm
Kadar Lumpur = $(h/H) \times 100\%$	11.1%	9.1%
Rata - rata	10.1%	

Berdasarkan ASTM C33-86 tentang uraian dan syarat-syarat agregat disebutkan bahwa batas maksimum kadar lumpur adalah sebesar 3% dari total sampel percobaan. Sedangkan dalam analisa yang dilakukan diperoleh hasil kandungan lumpur sebesar 10.1%.

#### 4.2.3.7. Analisa Kebersihan Kandungan Zat Organik dalam Abu Batu (ASTM C40-92)

**Tabel 4.18** Analisa Kandungan Zat Organik Abu Batu

Percobaan Nomor	1	2
Volume Abu batu	130 cc	130 cc
Larutan NaOH	200 cc	70 cc
Warna	putih jernih	putih jernih

(Sumber Wijaya,2014)

Hasil analisa yang ditunjukkan pada **Tabel 4.18** dapat diketahui bahwa warna yang timbul adalah putih jernih atau tidak lebih pekat dari zat pembanding. Berdasarkan ASTM C40-92 disebutkan bahwa dalam penentuan kadar zat organik, warna hasil percobaan tidak boleh lebih pekat atau keruh dibandingkan dengan warna zat pembanding yaitu NaOH. Sehingga dapat disimpulkan abu batu tersebut tidak terindikasi mengandung zat organik dan memenuhi persyaratan.

#### **4.2.3.8. Analisa Gradasi Abu Batu (ASTM C33-78 dan BS 882-1973)**

Analisa gradasi abu batu dilakukan dengan mengacu standar ASTM dan BS. Dalam menentukan baik buruknya suatu agregat atau *filler*, selain membandingkan nilai persen dari lolos ayakan kumulatif dengan spesifikasi, juga dapat berdasarkan pada angka kehalusan (*fine modulus*).

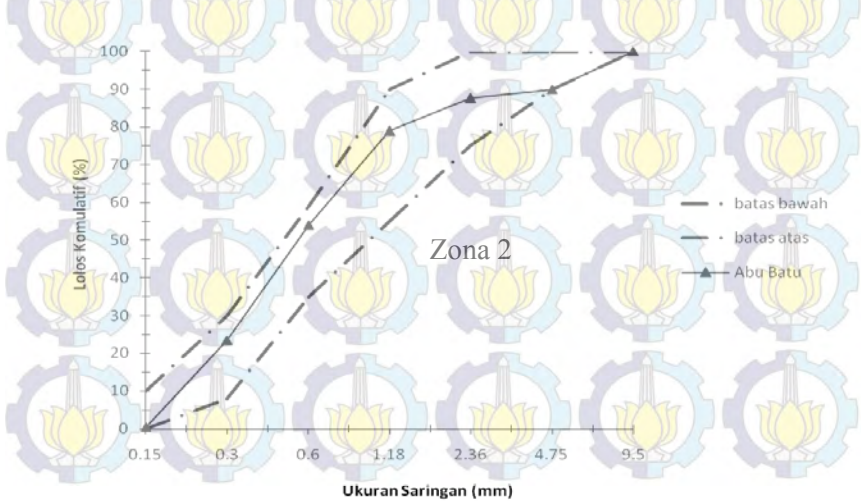
Nilai *fine modulus* itu sendiri merupakan jumlah tertahan kumulatif dari satu set saringan yang disusun dari saringan no. 100 dengan ukuran 150 $\mu$ m dibagi dengan 100.

Untuk hasil dari analisa saringan pada abu batu dapat dilihat pada **Tabel 4.19**.

Tabel 4.19 Analisa Gradasi Abu Batu

Ukuran ayakan			Tertahan ayakan		% Kumulatif		Spesifikasi	
No.	Mm	Inchi	gram	%	% Tertahan	% Lolos	Gradasi zone 2	
3/8	9.5	241.30	0	0.00	0.00	100.00	100	100
4	4.75	120.65	0.100	10.00	10.00	90.00	90	100
8	2.36	59.94	0.025	2.50	12.50	87.50	75	100
16	1.18	29.97	0.085	8.50	21.00	79.00	55	90
30	0.6	15.24	0.25	25.00	46.00	54.00	35	59
50	0.3	7.62	0.305	30.50	76.50	23.50	8	30
100	0.15	3.81	0.23	23.00	99.50	0.50	0	10
pan			0.005	0.50	100.00	0.00		
jumlah			1000	100	265.50			

Grafik gradasi untuk memperjelas hasil analisa gradasi abu batu tersebut, ditunjukkan pada **Gambar 4.18**.



Gambar 4.18 Grafik Analisa Gradasi Abu Batu ASTM



Dari hasil analisa gradasi yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa abu batuyang dipergunakan sebagai *filler* termasuk kedalam zona gradasi 2 berdasarkan BS 882:1973. Nilai dari *fine modulus* atau modulus kehalusan yang diperoleh sebesar 2.66%. Nilai modulus kehalusan atau *fine modulus* berdasarkan persyaratan ASTM C 33-78 adalah 2.3%-3.0% sehingga abu batu tersebut memenuhi persyaratan.

Dari keseluruhan analisa fisik material abu batu yang telah dilakukan didapat data-data antara lain :

Berat Jenis (SSD)	= 2.41 gr/cm <sup>3</sup>
Kadar air Resapan	= 3.63%
Kelembaban	= 2.57%
Berat Volume (dengan rojokan)	= 1.60 kg/lt
Berat Volume (tanpa rojokan)	= 1.56 kg/lt
Kadar Lumpur (pencucian)	= 9.8%
Kadar Lumpur (pengendapan)	= 10.1%
Modulus Kehalusan	= 2.66%
Grading Zone	= 2

#### 4.2.3.9. Analisa XRD Abu Batu

Analisa hasil XRD terhadap material XRD ditunjukkan pada **Tabel 4.20**.

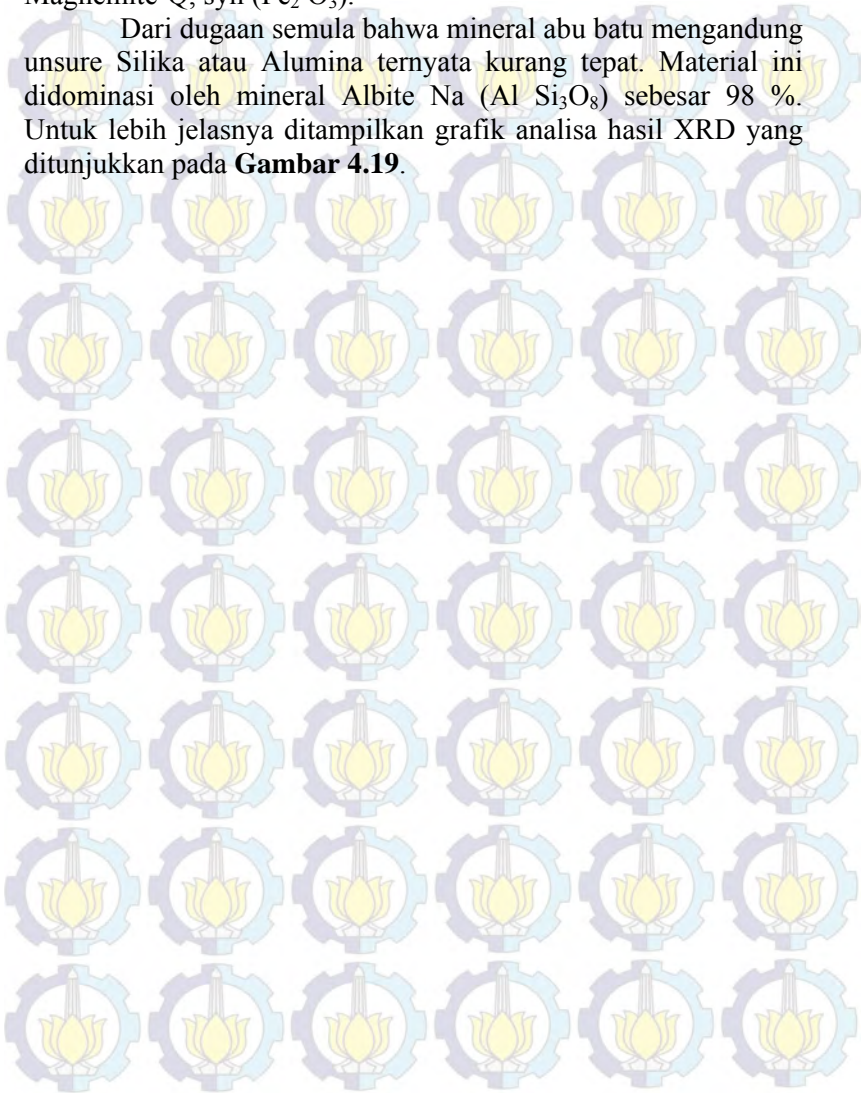
**Tabel 4.20** Analisa XRD Abu Batu

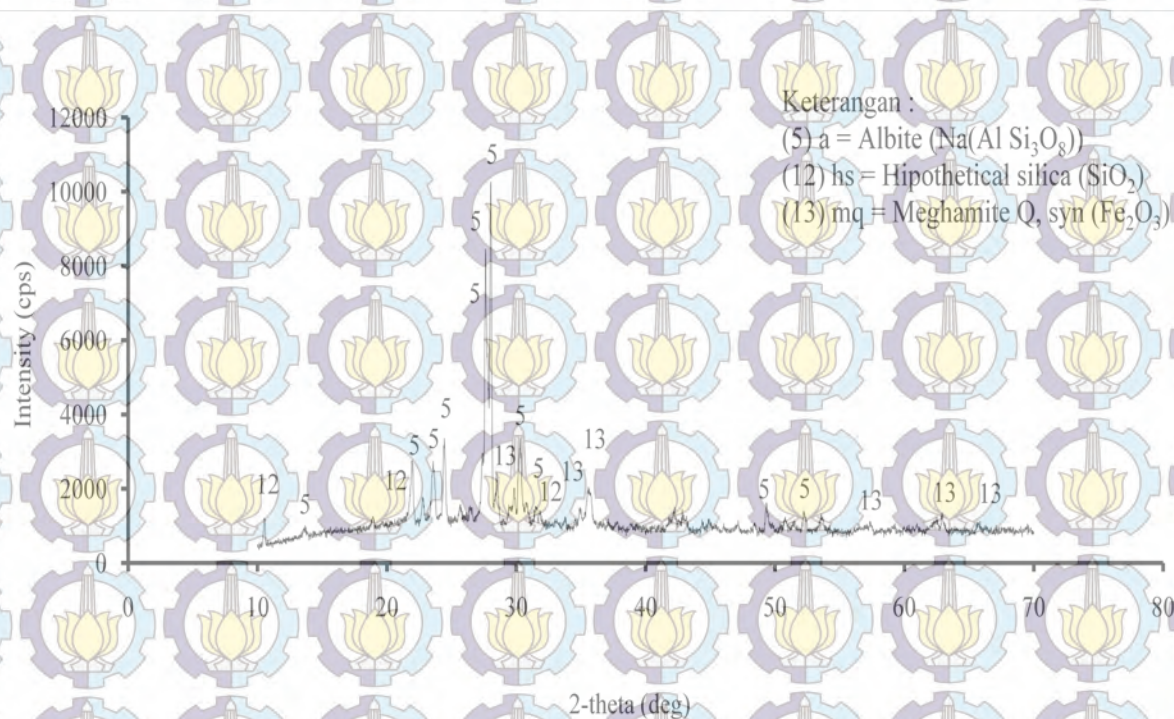
Notasi	Nama Mineral	Rumus Kimia	Komposisi (%)
Ab	Albite	Na ( Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	98
Hs	hypothetical silica	Si O <sub>2</sub>	0.77
Mh	Maghemite-Q, syn	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.93

Dari hasil analisa yang ditunjukkan pada **Tabel 4.20**, dapat disimpulkan pada abu batu terdapat beberapa mineral kimia

antara lain Albite  $\text{Na}(\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$ , hypothetical silica ( $\text{SiO}_2$ ), dan Maghemite-Q, syn ( $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ ).

Dari dugaan semula bahwa mineral abu batu mengandung unsure Silika atau Alumina ternyata kurang tepat. Material ini didominasi oleh mineral Albite  $\text{Na}(\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$  sebesar 98 %. Untuk lebih jelasnya ditampilkan grafik analisa hasil XRD yang ditunjukkan pada **Gambar 4.19**.





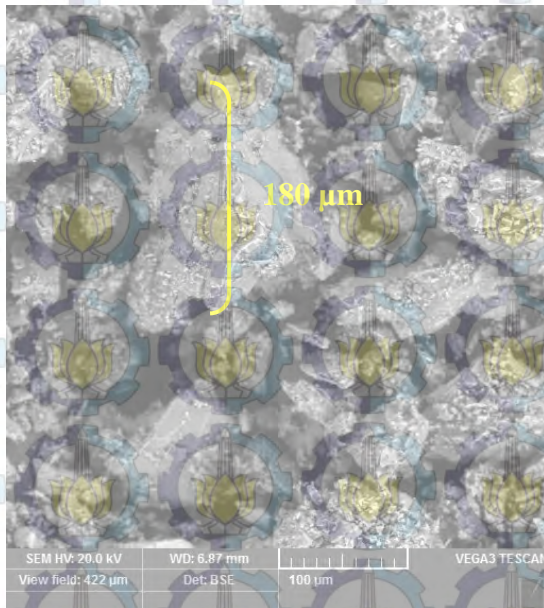
Gambar 4.19 Grafik hasil analisa XRD Abu Batu



Dari hasil analisa pengujian XRD diperoleh kesimpulan bahwa mineral albite memiliki intensitas puncak tertinggi yaitu sebesar 10500 cps.

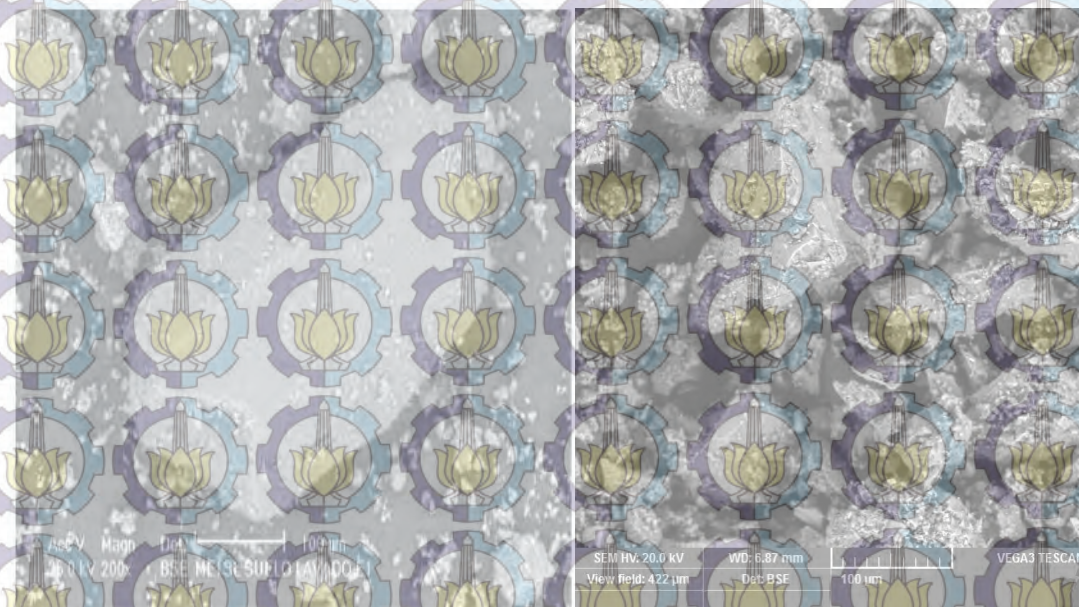
#### 4.2.3.10. Analisa SEM Abu Batu

Analisa SEM terhadap abu batu dilakukan dengan perbesaran 50  $\mu\text{m}$ . Hasil analisa SEM abu batu ditunjukkan pada **Gambar 4.20**.



**Gambar 4.20** Analisa SEM Abu Batu

Dari **Gambar 4.20** diketahui bahwa mineral terbesar pada abu batu berukuran 180  $\mu\text{m}$ . Sedangkan pada **Gambar 4.21** ditunjukkan perbandingan mineral hasil uji SEM abu batu dengan mineral albite pada *leached soil*.



sumber: [www.scielo.org](http://www.scielo.org), Gutiérrez et al, 2009

Gambar 4.21 Perbandingan mineral Albite pada a) *Leached soil* b) Abu batu



### 4.3. Trial Mix Paving Geopolimer

Sebelum dilakukan pembuatan benda uji asli berupa paving geopolimer, terlebih dahulu dilakukan beberapa percobaan antara lain :

#### 4.3.1. Karakterisasi Penggunaan Larutan NaOH pada Paving Geopolimer

Tujuan *trial* ini untuk mengetahui penggunaan larutan NaOH dengan perbedaan perlakuan yaitu :

- Larutan NaOH 14 M yang diencerkan dengan air sehingga molaritasnya turun menjadi 7.73 M
- Larutan NaOH yang dibuat langsung 7.5 M

Komposisi yang dipakai sama dengan perhitungan yang dilakukan pada bab sebelumnya. Variasi berat SCBA yang dipakai adalah 15% terhadap berat *bottom ash*. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 ha ri. Hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan ditunjukkan pada **Tabel 4.21**.

**Tabel 4.21** Kuat tekan *trial* paving dengan perbedaan molaritas

Benda uji	Kuat tekan (Mpa)
Paving 14 M dengan pengenceran	13.38
Paving 7,5 M	12.84

Kesimpulan yang diperoleh yaitu kuat tekan yang dihasilkan pada paving yang menggunakan larutan NaOH dengan pengenceran memiliki kuat tekan yang lebih tinggi namun tidak begitu besar selisihnya.



#### 4.3.2. Karakterisasi Penambahan Air pada larutan alkali dengan *Bottom Ash* yang Tercampur Ter

Komposisi yang dipergunakan dalam *trial* ini sama dengan komposisi yang dihitung pada bab 3 dengan penambahan SCBA 15% terhadap *bottom ash*. Akan tetapi material dasar yang dipakai merupakan *bottom ash* PT Kasmaji yang tercampur dengan minyak atau ter dan diuji tekan pada umur 7 hari.

Variabel yang dijadikan pembanding adalah banyaknya air yang ditambahkan pada pengenceran larutan NaOH. variabel tersebut dibedakan menjadi berikut :

- a. Kode Uji A  
 Penambahan air 5% dari berat pasta.  
 Berat alkali 35% dari berat pasta.  
 NaOH 14 M dihitung 1/3.5 dari berat larutan alkali.  
 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dihitung 2.5/3.5 dari berat larutan alkali.
- b. Kode Uji B  
 Penambahan air 5% dari larutan alkali.  
 Berat alkali 95% dari larutan alkali.  
 NaOH 14 M dihitung 1/3.5 dari alkali 95%.  
 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dihitung 2.5/3.5 dari alkali 95%
- c. Kode Uji C  
 Penambahan air 5/35 bagian dari larutan alkali.  
 Berat alkali 30/35 bagian dari larutan alkali.  
 NaOH 14 M dihitung 1/3.5 dari alkali.  
 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dihitung 2.5/3.5 dari alkali.
- d. Kode Uji D  
 Penambahan air 5% dari berat pasta.  
 Berat alkali 46.2% dari larutan alkali.  
 NaOH 14 M dihitung 1/3.5 berat alkali.  
 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dihitung 2.5/3.5 berat alkali.

**Tabel 4.22** Kuat tekan trial paving dengan variabel penambahan air pada larutan alkali

Benda uji	Kode Uji	Mpa
Paving 14 M	A	1.58
Paving 14 M	B	1.92
Paving 14 M	C	1.25
Paving 14 M	D	1.99

Dari hasil *trial* paving dengan kode uji D memiliki kuat tekan paling besar yaitu 1.99 MPa pada umur 7 hari. Akan tetapi penambahan air pada benda uji asli yang dilakukan tetap mengacu pada *mix design* mortar geopolimer pada peneliti sebelumnya (Wijaya, 2014) dikarenakan tujuan utama penelitian ini adalah melakukan konfirmasi terhadap hasil yang diperoleh pada mortar geopolimer dan mengaplikasikannya pada benda uji berupa paving sebenarnya dalam skala lapangan. Selain itu benda uji yang dipakai sebagai sampel hanya 1 buah sehingga keakuratan pada *trial* ini masih diragukan.

#### 4.3.3. Pembuatan Benda Uji dengan perbandingan Agregat dengan pasta adalah 70:30 dengan *Bottom Ash* yang Tercampur Ter

Percobaan ini dilakukan dengan mengganti komposisi perbandingan campuran dimana pada *mix design* sebenarnya perbandingan agregat dengan pasta adalah 65:35, namun dilakukan dengan perbandingan 70:30. Pengujian tekan dilakukan pada umur 7 hari.

**Tabel 4.23** Kuat tekan trial paving dengan perbandingan Agregat dengan Pasta sebesar 70:30

Benda uji	Mpa
Paving 14 M A	2.43
Paving 14 M B	2.43
Paving 14 M C	2.03

Dari hasil percobaan diperoleh nilai kuat tekan rata-rata pada paving geopolimer dengan perbandingan agregat dengan pasta sebesar 70:30 adalah 2.30 MPa.

#### 4.4. Data dan Analisa Hasil Pengujian Paving Geopolimer

##### 4.4.1. Komposisi Paving Geopolimer

Komposisi penyusun paving geopolimer terdiri atas beberapa material antara lain *bottom ash*, SCBA yang dikalsinasi dengan suhu 850°C selama 7 Jam, dan abu batu dengan bahan pengikat menggunakan alkali berupa NaOH dan Sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Variabel benda uji terdiri atas 6 macam, masing-masing merupakan prosentase penambahan berat SCBA sebesar 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35% terhadap material *bottom ash*.

Komposisi paving geopolimer yang dipergunakan sesuai dengan komposisi yang telah dihitung pada bab 3 dalam laporan ini. Komposisi tersebut dapat dilihat pada bagan alir *mix design* yang ditunjukkan pada **Gambar 4.22**.





Gambar 4.22 Bagan Komposisi Paving Geopolimer

Dari bagan komposisi yang ditunjukkan pada **Gambar 4.22** maka dapat dihitung kebutuhan masing-masing material setiap variasi untuk pembuatan 1 m<sup>3</sup> paving geopolimer. Komposisi pembuatan paving tiap m<sup>3</sup> dapat dilihat pada **Tabel 4.24**.

**Tabel 4.24** Komposisi Kebutuhan Material Tiap 1 m<sup>3</sup> Paving Geopolimer

Kode Benda Uji	Berat (kg) untuk 1 m <sup>3</sup> Paving					
	Abu Batu	<i>Bottom Ash</i>	SCBA	NaOH 14M	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Air
P0-S	1716.00	600.60	0.00	79.20	198.00	46.20
P15-S	1716.00	510.51	90.09	79.20	198.00	46.20
P20-S	1716.00	480.48	120.12	79.20	198.00	46.20
P25-S	1716.00	450.45	150.15	79.20	198.00	46.20
P30-S	1716.00	420.42	180.18	79.20	198.00	46.20
P35-S	1716.00	390.39	210.21	79.20	198.00	46.20

Penjelasan kode benda uji pada masing-masing variasi adalah sebagai berikut :

- P0-S = Paving geopolimer dengan 0% SCBA
- P15-S = Paving geopolimer dengan 15% SCBA
- P20-S = Paving geopolimer dengan 20% SCBA
- P25-S = Paving geopolimer dengan 25% SCBA
- P30-S = Paving geopolimer dengan 30% SCBA
- P35-S = Paving geopolimer dengan 35% SCBA

#### 4.4.2. Pembuatan Benda uji Paving Geopolimer

Pembuatan benda uji dilakukan dengan cara dipres dengan mesin cetak paving manual. Hasil benda uji berupa paving geopolimer berbentuk balok dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 8 cm. Hasil tersebut berbeda dengan perencanaan sebelumnya yaitu 20 cm x 10 cm x 6 cm dikarenakan proses pengepresan manual tidak bisa dilakukan dengan volume sesuai perencanaan. Setiap 1

m<sup>3</sup> benda uji menggunakan bahan campuran adukan paving yang sebelumnya ditimbang sebesar 2640 gram.

#### 4.4.3. *Curing dan Storage Paving Geopolimer*

Setelah selesai dicetak benda uji disimpan atau diletakkan diluar ruangan seperti pada paving pada umumnya atau bisa juga diletakkan dalam gudang. Apabila kondisi memungkinkan paving dijemur dengan suhu wilayah Kota Surabaya atau sekitar 30°C-34°C dan kelembaban udara 70%-80%. Sampai saat waktu pengujian, hindarkan benda uji dari air atau hujan apabila benda uji diletakkan di lapangan dengan cara ditutup terpal.



**Gambar 4.23** *Curing dan Storage Paving Geopolimer*

#### 4.5. *Analisa Hasil Pengujian Paving Geopolimer*

Analisa benda uji paving terdiri dari beberapa pengujian yang dilakukan terhadap benda uji paving yang telah dibuat sehingga dapat diketahui karakteristik mekanis dari paving geopolimer tersebut. Pengujian tersebut meliputi uji berat volume, uji kuat tekan paving, uji porositas atau daya serap air, dan uji abrasi atau ketahanan aus, serta pengaruhnya terhadap setiap pengujian.



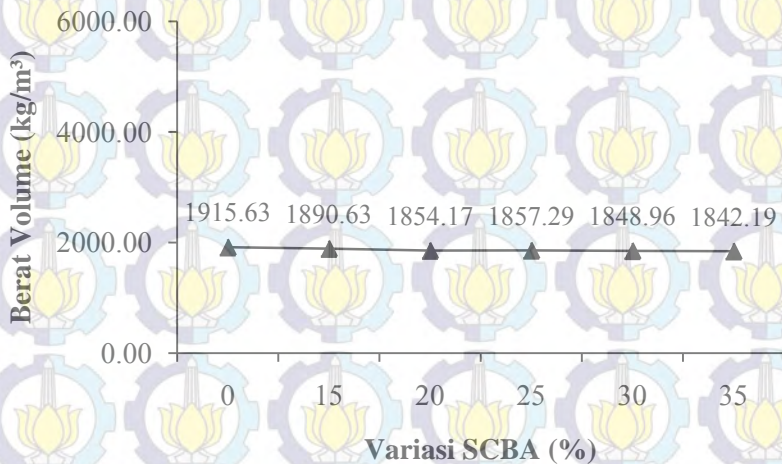
#### 4.5.1. Analisa Berat Volume Paving Geopolimer

Pengujian berat volume dilakukan pada masing-masing benda uji berukuran 20 cm x 10 cm x 8 cm di setiap variabel pada saat umur 28 hari. Hasil pengujian berat volume paving ditunjukkan pada Tabel 4.25.

**Tabel 4.25** Analisa Berat Volume Paving Geopolimer

Kode Benda Uji	Perco-baan ke	Berat Benda Uji (kg)	Volume Benda Uji (cm <sup>3</sup> )	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	Rata-rata Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )
P0-S	1	3.04	1600	1896.88	1915.63
	2	3.12	1600	1946.88	
	3	3.06	1600	1909.38	
P15-S	1	3.03	1600	1890.63	1890.63
	2	3.03	1600	1893.75	
	3	3.03	1600	1890.63	
P20-S	1	3.02	1600	1887.50	1854.17
	2	3.03	1600	1890.63	
	3	2.90	1600	1809.38	
P25-S	1	2.98	1600	1862.50	1857.29
	2	2.97	1600	1856.25	
	3	2.98	1600	1862.50	
P30-S	1	2.97	1600	1853.13	1848.96
	2	2.96	1600	1850.00	
	3	2.96	1600	1850.00	
P35-S	1	2.96	1600	1846.88	1842.19
	2	2.98	1600	1862.50	
	3	2.92	1600	1821.88	

Dari **Tabel 4.25** diperoleh data berat volume paving diperoleh kesimpulan bahwa rata-rata berat volume benda uji untuk semua variasi sebesar  $1868.14 \text{ kg/m}^3$ . Berat volume lebih kecil dari berat rencana dikarenakan dimensi paving lebih besar dari perencanaan yaitu  $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$ , sehingga kepadatannya menjadi lebih rendah. Hal tersebut dikarenakan pengepresan dilakukan dengan alat cetak manual yang tingkat kepadatannya kurang maksimal dan tidak sesuai dengan desain awal. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat grafik berat volume pada **Gambar 4.24**.



**Gambar 4.24** Grafik Berat volume Paving Geopolimer

Dari tabel dan grafik analisa berat volume dapat dilihat bahwa berat volume paling besar yaitu pada paving dengan penambahan berat SCBA 0% yaitu sebesar  $1915.63 \text{ kg/m}^3$ , sedangkan berat volume paling kecil adalah pada paving dengan penambahan berat SCBA 35% yaitu sebesar  $1842.19 \text{ kg/m}^3$ . Terjadi penurunan berat volume seiring dengan penambahan

SCBA kedalam paving geopolimer. Hal ini dikarenakan dari keseluruhan material pada paving geopolimer, SCBA yang dikalsinasi dengan suhu  $850^{\circ}\text{C}$  selama 7 jam memiliki berat jenis paling rendah yaitu sebesar  $2.04\text{ gr/cm}^3$ . Sehingga semakin banyak penambahan berat SCBA akan mengurangi berat volume paving geopolimer.

#### 4.5.2. Analisa Pengujian kuat Tekan Paving Geopolimer

Pengujian berat volume dilakukan pada benda uji berupa paving geopolimer berbentuk balok dengan ukuran  $20\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ . Pengujian kuat tekan dilakukan pada 3 buah benda uji untuk masing-masing variabel pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari.

Dilakukan kontrol kualitas setiap benda uji pada masing-masing variasi yang mengacu pada SNI 03-06813-2002. Kontrol kualitas pada pengujian paving geopolimer didasarkan pada kovarian standar uji laboratorium.

**Tabel 4.26** Kontrol Kualitas Beton SNI 03-6813-2002

Standar Deviasi (Mpa)		Kovarian (%)		Kontrol Kualitas
Lapangan	Laboratorium	Lapangan	Laboratorium	
< 2.8	< 1.4	< 9.33	< 4.67	Istimewa
2.8 - 3.5	1.4 - 1.7	9.33 - 11.67	4.67 - 5.67	Sangat Baik
3.5 - 4.2	1.7 - 2.1	11.67 - 14.00	5.67 - 7.00	Baik
4.2 - 4.9	2.1 - 2.4	14.00 - 16.33	7.00 - 8.00	Cukup
> 4.9	> 2.4	> 16.33	> 8.00	Kurang

Hasil pengujian kuat tekan pada paving geopolimer ditunjukkan pada **Tabel 4.27**. Grafik hubungan Kuat tekan dengan variasi SCBA untuk setiap umur pengujian akan ditunjukkan pada **Gambar 4.25** sampai **Gambar 4.28**. Sedangkan Grafik hubungan antara kuat tekan paving dengan umur beton untuk semua variasi ditunjukkan pada **Gambar 4.29**.

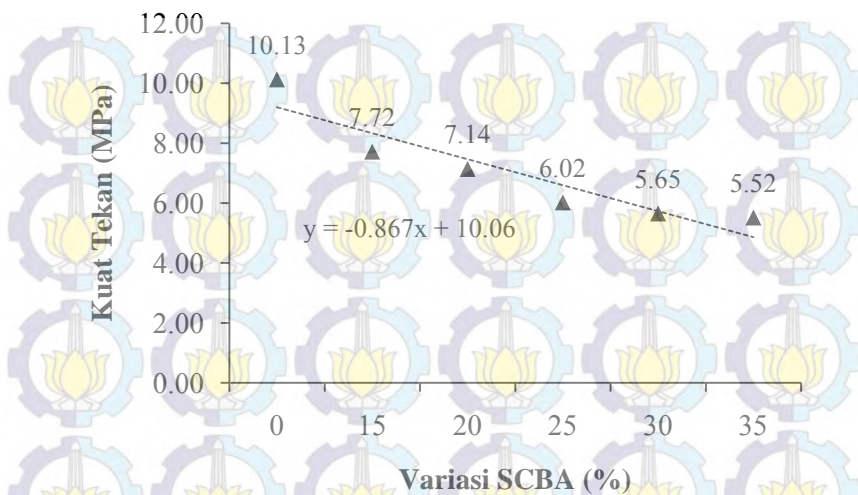


**Tabel 4.27** Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving Geopolimer

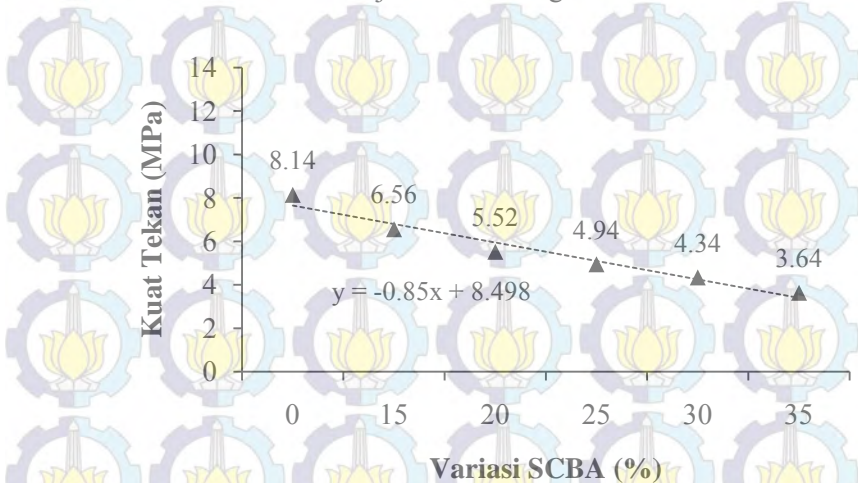
Kode Benda Uji	Umur	Nilai Kuat Tekan (Mpa)			Rata- rata (Mpa)	Standar Deviasi	Covariant (%)	Kontrol kualitas
		P1	P2	P3				
P0-S	28	10.71	10.07	9.61	10.13	0.55	5.45	Baik
P15-S	28	7.41	7.52	8.22	7.72	0.44	5.68	Baik
P20-S	28	7.76	6.71	6.95	7.14	0.55	7.66	Cukup
P25-S	28	6.02	6.41	5.64	6.02	0.39	6.44	Baik
P30-S	28	5.65	5.79	5.52	5.65	0.13	2.36	Istimewa
P35-S	28	6.02	5.21	5.32	5.52	0.44	7.94	Cukup
P0-S	21	7.87	8.57	7.99	8.14	0.37	4.57	Istimewa
P15-S	21	7.06	6.37	6.25	6.56	0.44	6.68	Baik
P20-S	21	5.21	6.02	5.32	5.52	0.44	7.94	Cukup
P25-S	21	4.83	4.73	5.27	4.94	0.29	5.78	Baik
P30-S	21	4.18	4.46	4.39	4.34	0.14	3.25	Istimewa
P35-S	21	3.94	3.36	3.62	3.64	0.29	7.97	Cukup
P0-S	14	6.14	6.25	6.95	6.44	0.44	6.80	Baik

P15-S	14	5.64	5.32	5.90	5.62	0.29	5.15	Sangat Baik
P20-S	14	4.11	3.36	3.76	3.74	0.38	10.06	Kurang
P25-S	14	3.70	3.18	3.47	3.45	0.26	7.56	Cukup
P30-S	14	2.89	2.66	3.18	2.91	0.26	8.96	Kurang
P35-S	14	1.97	1.85	1.77	1.86	0.10	5.46	Sangat Baik
P0-S	7	2.03	2.32	2.17	2.17	0.14	6.67	Baik
P15-S	7	1.39	1.50	1.56	1.49	0.09	5.95	Baik
P20-S	7	1.22	1.16	1.04	1.14	0.09	7.77	Cukup
P25-S	7	1.01	0.93	1.04	0.99	0.06	6.06	Baik
P30-S	7	0.84	0.75	0.72	0.77	0.06	7.81	Cukup
P35-S	7	0.69	0.64	0.72	0.68	0.04	6.45	Baik



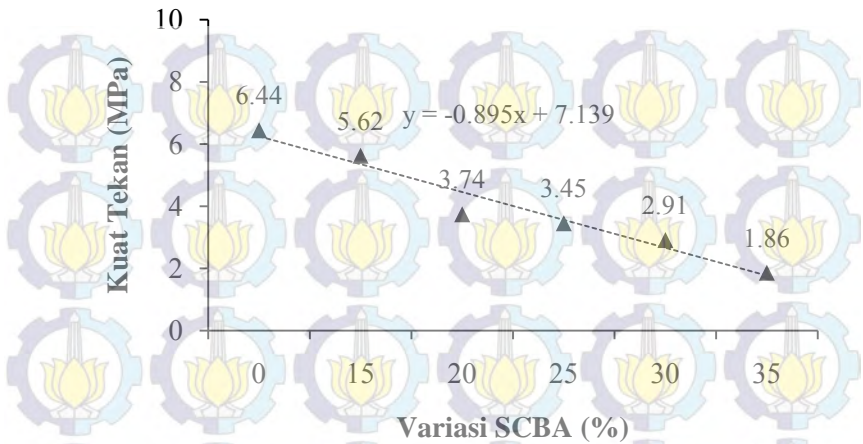


**Gambar 4.25** Grafik Uji Tekan Paving Umur 28 hari

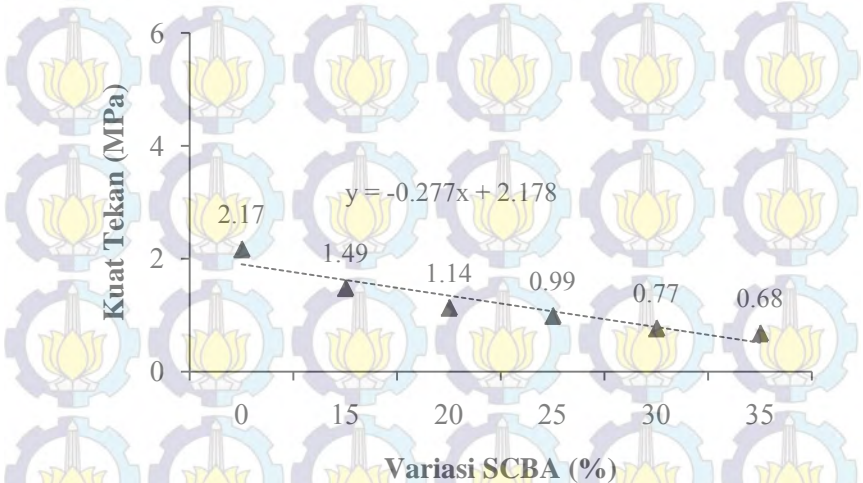


**Gambar 4.26** Grafik Uji Tekan Paving Umur 21 hari

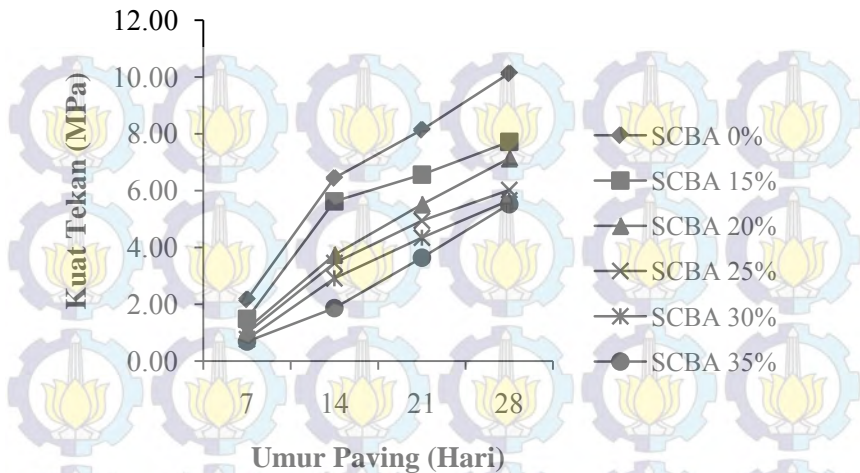




**Gambar 4.27** Grafik Uji Tekan Paving Umur 14 hari



**Gambar 4.28** Grafik Uji Tekan Paving Umur 7 hari



**Gambar 4.29** Grafik Hubungan kuat Tekan dengan Umur Paving tiap Variasi SCBA

Dari keseluruhan pengujian kuat tekan terhadap paving geopolimer yang ditunjukkan pada tabel maupun grafik diketahui bahwa kuat tekan paving tertinggi terdapat pada paving dengan kandungan SCBA 0% yaitu sebesar 10.13 MPa pada umur 28 hari dan kuat tekan terendah terjadi pada paving dengan campuran SCBA 35% sebesar 0.68 MPa pada umur 7 hari. Dengan demikian paving pada umur 28 hari dengan kandungan SCBA 0% termasuk kedalam paving kelas D sesuai dengan SNI 03-0691 96 tentang bata beton dan dapat dipergunakan untuk taman dan penggunaan lainnya.

Terjadi penurunan kuat tekan paving seiring dengan penambahan SCBA pada setiap umur pengujian. Hal ini disebabkan meskipun SCBA merupakan sumber silika yang cukup besar sebagaimana berdasarkan hasil analisa XRF yaitu sebesar 83.00%, tetapi dalam material ini hanya mengandung sedikit senyawa Alumina 9.67%. Sedangkan pada material *bottom*

*ash* yang diuji dengan XRF terdapat kandungan senyawa silika sebesar 39.96% dan Alumina sebesar 44.56%, dimungkinkan senyawa Si dan Al berimbang yang terdapat pada *bottom ash* murni lebih reaktif daripada senyawa Si dan Al setelah dicampur dengan material SCBA.

Kesimpulan akhir yang dapat diambil dari analisa kuat tekan paving yaitu penambahan SCBA yang dikalsinasi 850°C selama 7 jam justru menurunkan kuat tekan paving, sehingga tidak direkomendasikan menggunakan SCBA yang dikalsinasi 850°C selama 7 jam dalam komposisi paving geopolimer dengan bahan dasar dari *bottom ash* PT. Kasmaji Inti Utama. Hasil pengujian TGA terhadap SCBA tidak bisa dijadikan rujukan untuk menetapkan suhu kalsinasi SCBA. Telah dilakukan beberapa penelitian penunjang sebagai pembanding untuk memperkuat pernyataan tersebut antara lain :

#### **4.5.2.1. Analisa Mortar Geopolimer Berbahan Dasar *Fly Ash* Petrokimia**

Pembuatan benda uji berupa mortar 5 cm x 5 cm x 5 cm dengan melakukan *replacement* material *bottom ash* PT. Kasmaji dengan *fly ash* dari PT. Petrokimia Gresik. Penambahan SCBA menggunakan SCBA yang sama yaitu dengan SCBA yang telah dikalsinasi 850°C selama 7 jam dengan mesin *furnace*. *Mix design* dilakukan dengan komposisi yang sama dengan komposisi pembuatan paving geopolimer.

Pemadatan dilakukan secara manual dengan dipukul-pukul pada cetakan mortar kubus, sama seperti pada penelitian sebelumnya (Wijaya,2014) tentang mortar geopolimer.

Pada kondisi yang sama juga dibuat mortar geopolimer berbahan dasar *bottom ash* sehingga dapat dilakukan komparasi seimbang antar kedua macam benda uji tersebut.





**Gambar 4.30** Mortar Geopolimer Berbahan *Fly Ash*



**Gambar 4.31** Mortar Geopolimer Berbahan *Bottom Ash*

**Tabel 4.28** Komposisi Mortar Geopolimer

%SCBA	Berat (gr) untuk 1 Buah Mortar (5x5x5) cm					Air
	Abu Batu	Bottom/fly Ash	SCBA	NaOH 14M	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	
0	210	75	0	10	25	6
15	210	75	11	10	25	6
20	210	75	15	10	25	6
25	210	75	19	10	25	6
30	210	75	23	10	25	6
35	210	75	26	10	25	6

Hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm pada umur 7 hari dengan bahan dasar *fly ash* PT. Petrokimia ditunjukkan pada **Tabel 4.29**.

**Tabel 4.29** Hasil Uji Kuat Tekan Mortar paving *fly ash* PT. Petrokimia

Kode Benda Uji	Umur	Nilai Kuat Tekan (Mpa)			Rata-rata (Mpa)	Standar Deviasi	Kovarian (%)	Kontrol kualitas
		P1	P2	P3				
Mf-S0	7	26.29	26.39	26.31	26.33	0.05	0.20	istimewa
Mf-S15	7	13.22	12.79	12.95	12.99	0.22	1.68	istimewa
Mf-S20	7	9.06	9.26	8.83	9.05	0.22	2.39	istimewa
Mf-S25	7	8.40	8.71	8.24	8.45	0.24	2.84	istimewa
Mf-S30	7	8.14	8.40	8.34	8.29	0.13	1.61	istimewa
Mf-S35	7	7.85	7.77	8.00	7.87	0.12	1.52	istimewa

Penjelasan kode benda uji pada masing-masing variasi adalah sebagai berikut :

Mf-S0 = Mortar *fly ash* dengan 0% SCBA

Mf-S15 = Mortar *fly ash* dengan 15% SCBA

Mf-S20 = Mortar *fly ash* dengan 20% SCBA

Mf-S25 = Mortar *fly ash* dengan 25% SCBA

Mf-S30 = Mortar *fly ash* dengan 30% SCBA

Mf-S35 = Mortar *fly ash* dengan 35% SCBA

Sedangkan **Tabel 4.30** merupakan hasil kuat tekan mortar berbahan dasar *bottom ash* PT Kasmaji.

**Tabel 4.30** Hasil Uji Kuat Tekan Mortar paving *Bottom Ash ash* PT. Kasmaji

Kode Benda Uji	Umur	Nilai Kuat Tekan (Mpa)			Rata-rata (Mpa)	Standar Deviasi	Covariant (%)	Kontrol kualitas
		P1	P2	P3				
M0S	7	7.46	7.85	7.53	7.61	0.21	2.73	Istimewa
M15S	7	6.91	7.18	7.06	7.05	0.14	1.95	Istimewa
M20S	7	6.59	6.51	6.75	6.62	0.12	1.81	Istimewa
M25S	7	5.06	5.34	5.57	5.32	0.26	4.80	Istimewa
M30S	7	5.06	5.02	4.94	5.01	0.06	1.20	Istimewa
M35S	7	4.63	4.55	4.63	4.60	0.05	0.98	Istimewa

Penjelasan kode benda uji pada masing-masing variasi adalah sebagai berikut :

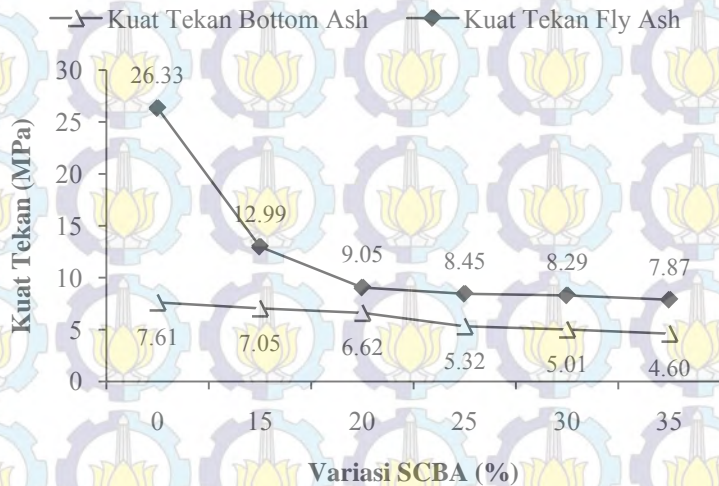
- M0S = Mortar *bottom ash* dengan 0% SCBA
- M15S = Mortar *bottom ash* dengan 15% SCBA
- M20S = Mortar *bottom ash* dengan 20% SCBA
- M25S = Mortar *bottom ash* dengan 25% SCBA
- M30S = Mortar *bottom ash* dengan 30% SCBA
- M35S = Mortar *bottom ash* dengan 35% SCBA

Apabila dibandingkan dengan mortar geopolimer yang sama dengan mortar berbahan dasar dari *bottom ash* PT Kasmaji yang ditunjukkan dalam **Tabel 4.30**, kuat tekan mortar berbahan *fly ash* paling maksimum sebesar 26.33 MPa jauh lebih besar tiga kali lipat dari mortar berbahan dasar *bottom ash* yaitu sebesar 7.46 MPa pada umur yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* PT Petrokimia jauh lebih reaktif jika dibandingkan dengan *bottom ash* PT Kasmaji.

Akan tetapi dari dua penelitian tersebut sama-sama mengalami penurunan kuat tekan seiring dengan penambahan jumlah SCBA seperti yang ditunjukkan grafik pada **Gambar**



**4.32.** Hal tersebut semakin memperkuat pernyataan bahwa penggunaan SCBA yang dikalsinasi dengan suhu 850°C selama 7 jam tidak disarankan sebagai bahan campuran paving ataupun mortar geopolimer.



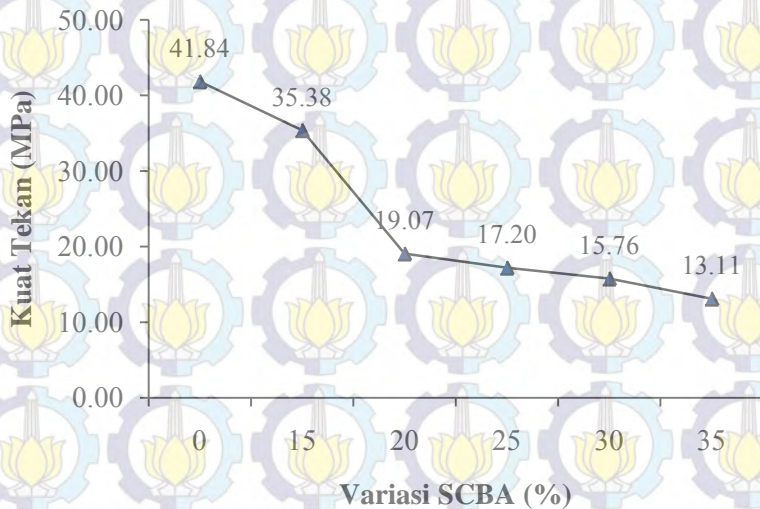
**Gambar 4.32** Perbandingan Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan dasar *Fly Ash* PT. Petrokimia dengan *Bottom Ash* PT. Kasmaji pada Umur 7 Hari

Selain mortar geopolimer berbahan dasar *fly ash* dengan umur 7 ha ri, juga dibuat mortar *fly ash* dengan umur 28 ha ri sehingga dapat diketahui nilai kuat tekan pada umur tersebut.

Hasil pengujian kuat tekan mortar *fly ash* pada umur 28 hari ditunjukkan masing-masing pada **Tabel 4.31** dan **Gambar 4.33**.

**Tabel 4.31** Hasil Uji Kuat Tekan Mortar berbahan *fly ash* umur 28 hari

Kode Benda Uji	Umur	Nilai Kuat Tekan (Mpa)			Rata-rata (Mpa)	Standar Deviasi	Kovarian (%)	Kontrol kualitas
		P1	P2	P3				
Mf-S0	28	42.54	41.59	41.40	41.84	0.61	1.45	istimewa
Mf-S15	28	34.53	36.10	35.51	35.38	0.79	2.24	istimewa
Mf-S20	28	18.76	19.62	18.84	19.07	0.48	2.50	istimewa
Mf-S25	28	17.66	16.68	17.27	17.20	0.49	2.87	istimewa
Mf-S30	28	16.09	15.50	15.70	15.76	0.30	1.90	istimewa
Mf-S35	28	12.56	13.42	13.34	13.11	0.48	3.64	istimewa



**Gambar 4.33** Grafik Uji Tekan Mortar Fly Ash Umur 28 hari

#### 4.5.2.2. Analisa Karakterisasi Suhu Kalsinasi SCBA pada Campuran Mortar Geopolimer Terhadap Kuat Tekan

Analisa ini dimaksudkan untuk mengetahui kecenderungan penambahan material SCBA yang dikalsinasi dengan beberapa variasi suhu pembakaran terhadap pengujian kuat tekan pada campuran mortar paving berbahan dasar *bottom ash* berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Metode pembuatan benda uji dilakukan seperti pada analisa mortar sebelumnya.

SCBA yang dipergunakan dikalsinasi dengan suhu masing-masing 450°C selama 6 jam, 600°C selama 3 jam, dan 850°C masing-masing selama 3 jam dan 7 jam. Hal ini dikarenakan pada analisa kimia terhadap material SCBA sebelumnya terdapat beberapa hasil analisa yang saling bertolak belakang terhadap hasil penelitian sebelumnya. Hasil pengujian dari masing-masing mortar pembanding untuk beberapa variasi SCBA akan ditunjukkan pada Tabel 4.32 sampai Tabel 4.35.

**Tabel 4.32** Hasil Uji Kuat Tekan Mortar dengan SCBA yang dikalsinasi suhu 450°C Selama 6 Jam

Kode Benda Uji	Umur	Nilai Kuat Tekan (Mpa)			Rata-rata (Mpa)	Standar Deviasi	Kovarian (%)	Kontrol kualitas
		P1	P2	P3				
M0S	7	7.46	7.85	7.53	7.61	0.21	2.73	Istimewa
M15S	7	7.22	7.06	7.26	7.18	0.10	1.45	Istimewa
M20S	7	6.87	6.97	6.73	6.85	0.12	1.73	Istimewa
M25S	7	6.08	6.28	6.24	6.20	0.10	1.67	Istimewa
M30S	7	5.42	5.49	5.53	5.48	0.06	1.09	Istimewa
M35S	7	4.91	4.63	4.71	4.75	0.14	2.98	Istimewa



**Tabel 4.33** Hasil Uji Kuat Tekan Mortar dengan SCBA yang dikalsinasi suhu 600°C Selama 3 Jam

Kode Benda Uji	Umur	Nilai Kuat Tekan (Mpa)			Rata-rata (Mpa)	Standar Deviasi	Kovarian (%)	Kontrol kualitas
		P1	P2	P3				
M0S	7	7.46	7.85	7.53	7.61	0.21	2.73	Istimewa
M15S	7	7.06	7.06	7.26	7.13	0.11	1.59	Istimewa
M20S	7	6.87	7.06	7.26	7.06	0.20	2.78	Istimewa
M25S	7	6.20	6.28	6.36	6.28	0.08	1.25	Istimewa
M30S	7	5.89	5.85	5.93	5.89	0.04	0.67	Istimewa
M35S	7	5.30	5.49	5.49	5.43	0.11	2.09	Istimewa

**Tabel 4.34** Hasil Uji Kuat Tekan Mortar dengan SCBA yang dikalsinasi suhu 850°C Selama 3 Jam

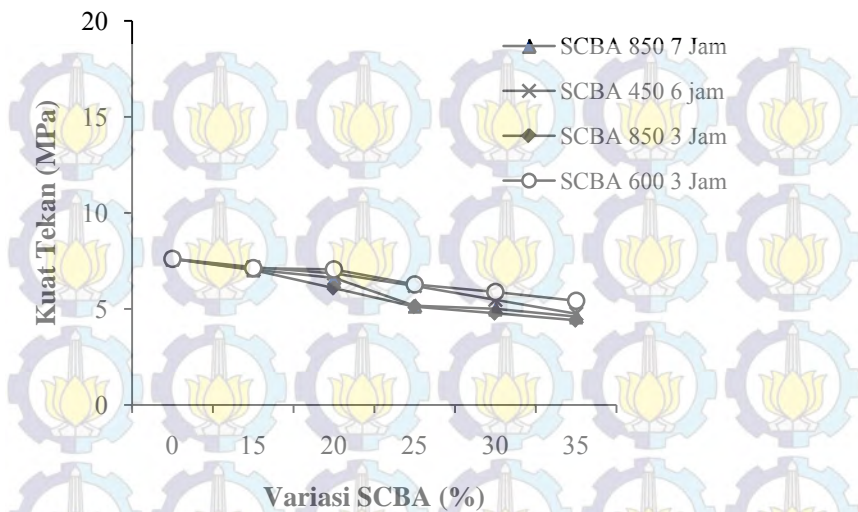
Kode Benda Uji	Umur	Nilai Kuat Tekan (Mpa)			Rata-rata (Mpa)	Standar Deviasi	Covariant (%)	Kontrol kualitas
		P1	P2	P3				
M0S	7	7.46	7.85	7.53	7.61	0.21	2.73	Istimewa
M15S	7	7.06	7.14	6.87	7.02	0.14	2.01	Istimewa
M20S	7	6.28	5.89	6.08	6.08	0.20	3.23	Istimewa
M25S	7	5.10	5.18	5.06	5.11	0.06	1.17	Istimewa
M30S	7	4.71	4.91	4.71	4.77	0.11	2.37	Istimewa
M35S	7	4.39	4.32	4.51	4.41	0.10	2.24	Istimewa

**Tabel 4.35** Hasil Uji Kuat Tekan Mortar dengan SCBA yang dikalsinasi suhu 850°C Selama 7 Jam

Kode Benda Uji	Umur	Nilai Kuat Tekan (Mpa)			Rata-rata (Mpa)	Standar Deviasi	Covariant (%)	Kontrol kualitas
		P1	P2	P3				
M0S	7	7.46	7.85	7.53	7.61	0.21	2.73	Istimewa
M15S	7	6.91	7.18	7.06	7.05	0.14	1.95	Istimewa
M20S	7	6.59	6.51	6.75	6.62	0.12	1.81	Istimewa
M25S	7	5.06	5.34	5.10	5.17	0.15	2.88	Istimewa
M30S	7	5.06	5.02	4.94	5.01	0.06	1.20	Istimewa
M35S	7	4.63	4.55	4.63	4.60	0.05	0.98	Istimewa

Dari data hasil pengujian mortar geopolimer pada umur 7 hari yang ditunjukkan pada masing-masing tabel variasi suhu pembakaran SCBA diketahui bahwa kuat tekan tertinggi pada masing masing suhu pembakaran SCBA terdapat pada mortar dengan variasi SCBA 0% yaitu sebesar 7.61 MPa. sedangkan kuat tekan terendah terjadi pada mortar dengan variasi SCBA 35% pada suhu kalsinasi 850°C selama 3 jam. Kecenderungan dari seluruh percobaan pada masing-masing suhu kalsinasi SCBA adalah berkurangnya kuat tekan seiring dengan penambahan jumlah SCBA. Meskipun terdapat beberapa perbedaan kuat tekan, namun tidak cukup besar tiap masing-masing suhu kalsinasi SCBA seperti ditunjukkan oleh grafik perbandingan kuat tekan mortar umur 7 hari pada **Gambar 4.34**.

Sehingga kesimpulan akhir dari percobaan ini yaitu seiring bertambahnya material SCBA pada suhu kalsinasi 450° selama 6 jam, 600°C selama 3 jam ataupun suhu 850°C pada suhu masing-masing 3 jam dan 7 jam pada campuran mortar ataupun paving geopolimer akan mengakibatkan penurunan kuat tekan.



**Gambar 4.34** Perbandingan Kuat Tekan Mortar Geopolimer pada Umur 7 Hari Untuk Setiap Variasi Suhu Kalsinasi SCBA

#### 4.5.3. Analisa Pengujian Ketahanan Aus Paving Geopolimer

Tabel perhitungan uji keausan paving dapat dilihat pada Tabel 4.36.

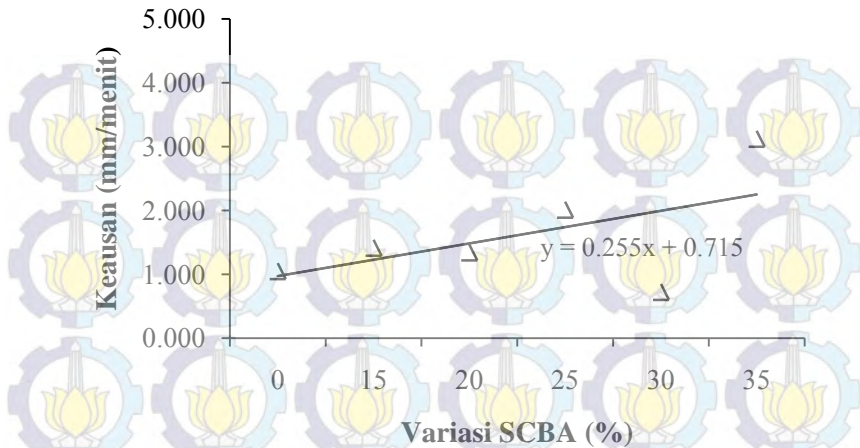


**Tabel 4.36** Hasil Pengujian Ketahanan Aus Paving Geopolimer

Kode Benda Uji	Percobaan Ke-	Berat Sebelum Aus (gr)	Berat Setelah Aus (gr)	Selisih Berat (A) (gr)	Luas Permukaan Aus (L) (cm <sup>2</sup> )	Waktu Pengujian (W) (menit)	Berat Jenis (BJ) (gr/cm <sup>3</sup> )	Keausan $\frac{A \times 10}{B \times L \times W}$ (mm/menit)	Rata-rata Keausan (mm/menit)
P0-S	1	3057	2990	67	56.32	6	2.02	0.982	1.050
	2	2947	2861	86	56.32	6	1.98	1.285	
	3	3079	3019	60	56.32	6	2.01	0.883	
P15-S	1	3000	2959	41	56.32	3	2.02	1.201	1.416
	2	2974	2924	50	56.32	3	1.96	1.510	
	3	3001	2948	53	56.32	3	2.04	1.538	
P20-S	1	2993	2949	44	56.32	3	1.96	1.329	1.342
	2	2986	2944	42	56.32	3	1.97	1.262	
	3	2993	2944	49	56.32	3	2.02	1.436	
P25-S	1	2899	2851	48	56.32	3	1.91	1.487	2.011
	2	3010	2944	66	56.32	3	1.99	1.963	







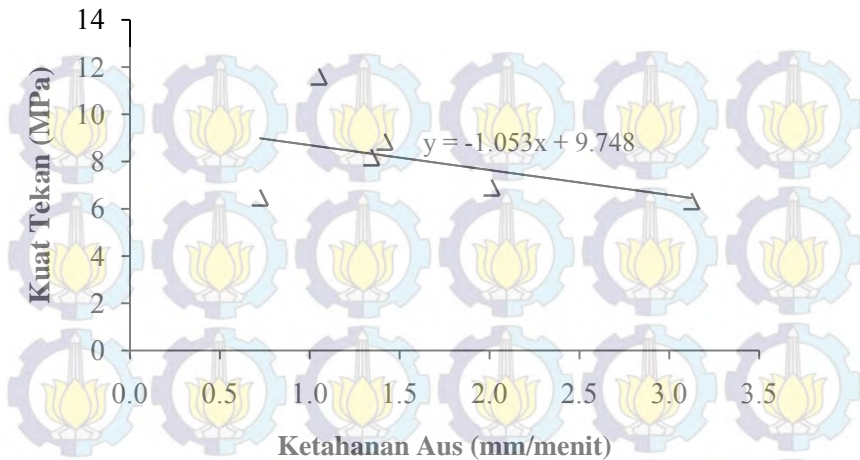
**Gambar 4.35** Grafik Ketahanan Aus Paving Geopolimer

Dari hasil analisa ketahanan aus pada paving geopolimer yang ditunjukkan pada **Tabel 4.34** dan **Gambar 4.35** dapat dilihat keausan paling tinggi terjadi pada paving dengan penambahan komposisi SCBA 35% yaitu sebesar 3.123 mm/menit. Terjadi kecenderungan peningkatan keausan paving seiring dengan penambahan SCBA dalam campuran paving geopolimer. Sehingga hasil uji paving tidak memenuhi syarat berdasarkan SNI 03-0691-1996.

#### 4.5.4. Analisa Hubungan Ketahanan Aus Terhadap Kuat Tekan Paving

Dari hasil pengujian ketahanan aus paving yang telah dilakukan dilakukan perbandingan dengan hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari, sehingga akan diperoleh hubungan kecenderungan serta pengaruh diantara kedua pengujian tersebut. Hasil dari analisa tersebut ditunjukkan pada **Gambar 4.36**.





**Gambar 4.36** Grafik Hubungan Ketahanan Aus Paving dengan Kuat Tekan

Dari analisa yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang ditunjukkan grafik pada **Gambar 4.36** diperoleh kecenderungan kenaikan grafik kuat tekan pada umur 28 hari seiring dengan peningkatan ketahanan aus paving. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kuat tekan mortar geopolimer maka semakin tinggi pula ketahanan ausnya.

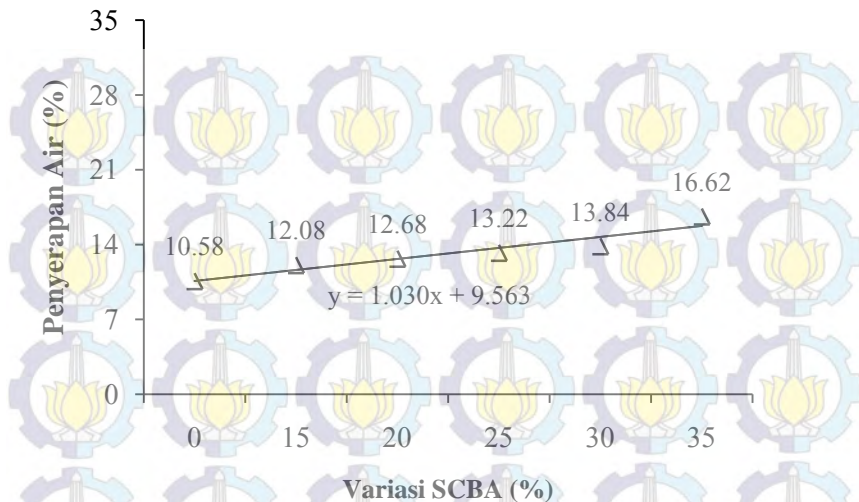
#### 4.5.5. Analisa Pengujian Resapan Air Paving Geopolimer

Pengujian peresapan air atau uji porositas pada paving geopolimer dilakukan pada tiap variasi penambahan SCBA. Hasil pengujian ditunjukkan pada **Tabel 4.37**.

**Tabel 4.37** Hasil Pengujian Resapan Air Paving Geopolimer

Kode Benda uji	Percobaan ke-	Berat Paving Normal (gr)	Berat Paving Basah (A) (gr)	Berat Paving Kering Oven (B) (gr)	Penyerapan air $\frac{A-B}{B} \times 100\%$ (%)	Penyerapan air Rata-rata (%)
P0-S	1	2990	3230	2830	14.13	10.58
	2	2861	3225	2945	9.51	
	3	3019	3275	3030	8.09	
P15-S	1	2959	3125	2725	14.68	12.08
	2	2924	3280	3035	8.07	
	3	2948	3155	2780	13.49	
P20-S	1	2949	3235	2890	11.94	12.68
	2	2944	3240	2895	11.92	
	3	2944	3260	2855	14.19	
P25-S	1	2851	3300	2975	10.92	13.22
	2	2944	3260	2840	14.79	
	3	2809	3470	3045	13.96	
P30-S	1	2974	3250	2895	12.26	13.84
	2	2985	3200	2845	12.48	
	3	3193	3235	2770	16.79	
P35-S	1	2862	3230	2765	16.82	16.62
	2	2872	3120	2700	15.56	
	3	2951	3290	2800	17.50	

Untuk lebih jelasnya juga dapat dilihat pada grafik hasil pengujian resapan air paving pada **Gambar 4.37**.



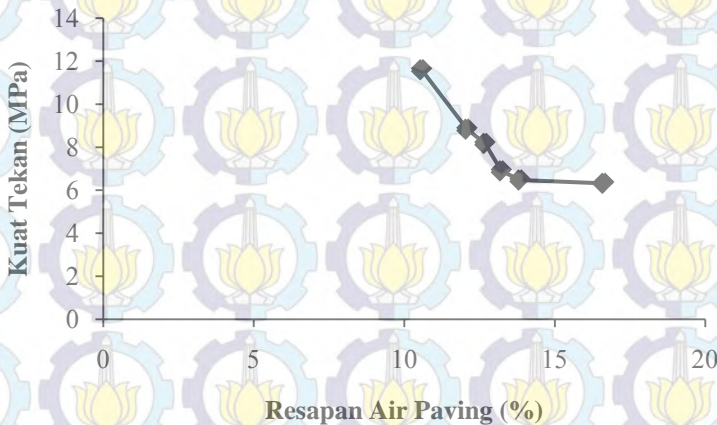
**Gambar 4.37** Grafik Hasil Pengujian Resapan Air Paving Geopolimer

Hasil analisa dari pengujian resapan air paving seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.37** dan **Gambar 4.37**. Dapat dilihat bahwa resapan air maksimum terjadi pada paving dengan penambahan SCBA 35% yaitu sebesar 16.62% dan penyerapan air terendah pada paving dengan penambahan SCBA 0%. Sehingga dapat diperoleh kesimpulan bahwa penambahan SCBA menyebabkan resapan air pada paving semakin besar. Merujuk pada penelitian Castadelli (2013), bahwa semakin banyak penggantian BFS (*Blast Furnace Slag*) oleh SCBA akan meningkatkan porositas dari mortar yang dibuat. Dengan demikian paving tidak memenuhi persyaratan uji resapan air berdasarkan SNI 03-0691-1996.



#### 4.5.6. Pengaruh Resapan Air Terhadap Kuat Tekan Paving

Dari percobaan kuat tekan pada umur 28 hari dengan percobaan resapan air paving yang dilakukan diperoleh grafik hubungan pengaruh antar dua pengujian tersebut. Grafik pengaruh antara resapan air paving dengan hasil pengujian kuat tekan ditunjukkan pada **Gambar 4.38**.



**Gambar 4.38** Pengaruh Resapan Air Terhadap Kuat Tekan Paving

Dari grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.38** dapat diperoleh kesimpulan bahwa semakin besar kuat tekan resapan airnya semakin sedikit, hal ini dikarenakan pada benda dengan kuat tekan tinggi memiliki tingkat kepadatan yang tinggi pula sehingga rongga pada pori-pori benda uji menjadi rapat. Pernyataan ini sesuai dengan penelitian Firmansyah (2012) yang mengemukakan bahwa, Sisa Pembakaran ampas tebu yang digunakan memiliki sifat *hidrolisis* (menyerap air). Sifat *hidrolisis* yang dimiliki limbah abu ampas tebu tersebut

menyebabkan *paving block* tersebut memiliki daya serap air yang tinggi. Selain itu dikarenakan berat jenis abu ampas tebu lebih kecil dari material lainnya, sehingga semakin bertambahnya substitusi sisa pembakaran ampas tebu, paving mengalami penurunan berat jenis. Nilai berat jenis paving juga menunjukkan kepadatan dari paving tersebut.

Kepadatan yang kecil, berarti mengurangi kuat tekan. Sifat *hidrolisis* yang dimiliki limbah abu ampas tebu tersebut dimungkinkan mengganggu reaksi pengikatan agregat oleh semen. Sehingga kuat tekan yang dihasilkan menurun.

#### **4.6. Kesesuaian Paving Geopolimer Terhadap SNI 03-0691-1996 dan SNI 03-0349-1989**

Dari keseluruhan hasil pengujian diperoleh data hasil uji mekanik paving geopolimer yang disesuaikan dengan persyaratan standar pada SNI 03-0691-1996 tentang bata beton ( paving block) dan SNI 03-0349-1989 tentang bata untuk pasangan dinding. Hasilnya ditunjukkan masing –masing pada **Tabel 4.38** dan **Tabel 4.39**.

**Tabel 4.38** Kesesuaian paving geopolimer dengan SNI 03-0691-1996

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)		Rata-rata Resapan Air Maks (%)	Ketahanan Aus (mm/mnt)		Kesesuaian Mutu SNI 03-0691-1996
	Rata-rata	Min.		Rata-rata	Min.	
P0-S	10.13	9.61	10.58	1.050	0.883	-
P15-S	7.72	7.41	12.08	1.416	1.201	-
P20-S	7.14	6.71	12.68	1.342	1.262	-
P25-S	6.02	5.64	13.22	2.011	1.487	-
P30-S	5.65	5.52	13.84	0.723	0.589	-
P35-S	5.52	5.21	16.62	3.123	1.953	-

**Tabel 4.39** Kesesuaian paving geopolimer dengan SNI 03-0349-1989

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)		Rata-rata Resapan Air Maks (%)	Kesesuaian Mutu SNI 03-0349-1989
	Rata-rata	Min.		
P0-S	10.13	9.61	10.58	I
P15-S	7.72	7.41	12.08	II
P20-S	7.14	6.71	12.68	II
P25-S	6.02	5.64	13.22	III
P30-S	5.65	5.52	13.84	III
P35-S	5.52	5.21	16.62	III

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada **Tabel 4.38**, paving geopolimer tidak masuk sesuai persyaratan SNI 03-0691-1996. akan tetapi apa bila ditinjau hanya berdasarkan kuat tekan, paving dengan penambahan berat SCBA 0% masuk kedalam

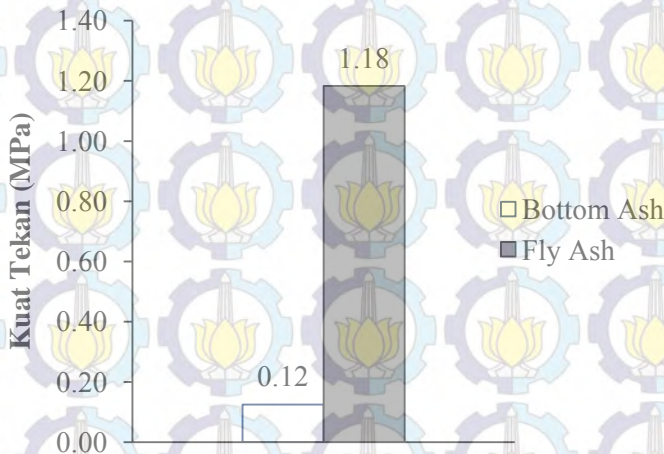


mutu paving kelas D, yang dapat diaplikasikan pada ataman atau penggunaan lainnya.

Berdasarkan **Tabel 4.39** diketahui bahwa paving geopolimimer masuk pada mutu kelas I sesuai SNI 03-0349-1989 sebagai bata beton untuk pasangan dinding.

#### 4.7. Analisa Hasil Uji Reaktivitas *Bottom Ash*

Hasil pengujian reaktivitas terhadap material bottom ash dibandingkan dengan reaktivitas material fly ash dapat dilihat pada **Gambar 4.39**.

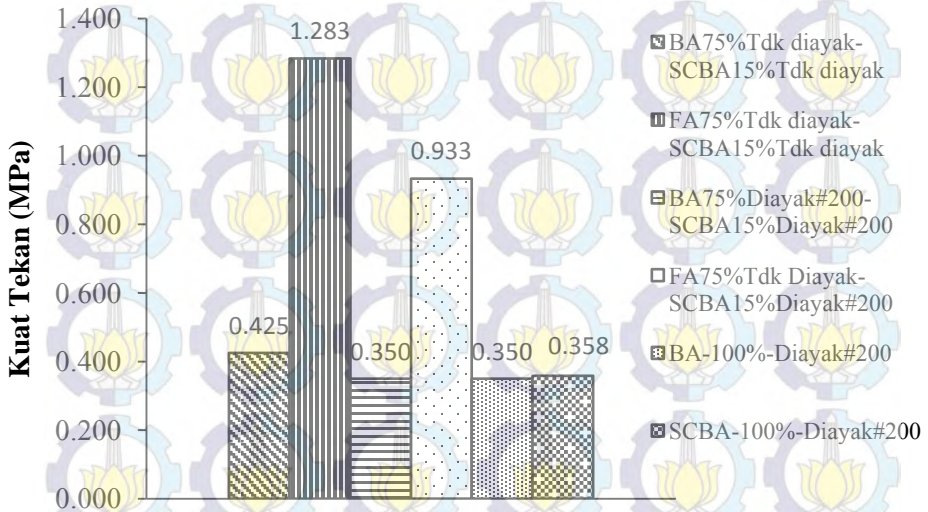


**Gambar 4.39** Hasil Uji Reaktivitas *Bottom Ash*

Dari grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.39** diketahui bahwa reaktivitas berdasarkan hasil kuat tekan terhadap bottom ash sebesar 0.12 MPa, sedangkan untuk *fly ash* sebesar 1.18 MPa.

Dapat disimpulkan bahwa reaktivitas *bottom ash* lebih rendah dibandingkan dengan *fly ash*.

#### 4.8. Analisa Hasil Uji Reaktivitas Campuran Paving



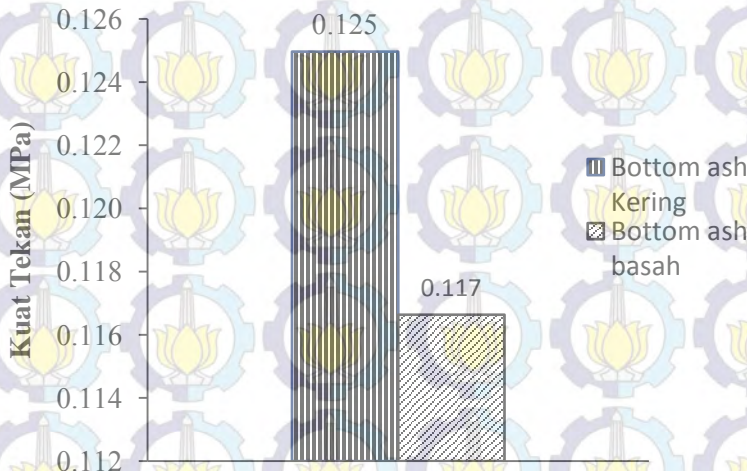
**Gambar 4.40** Uji reaktivitas material campuran paving

Dari hasil analisa rektivitas terhadap campuran material paving geopolimer dapat dilihat bahwa campuran material *fly ash* yang tidak diayak dengan SCBA yang telah dikalsinasindengan suhu 850° C selama 7 jam yang tidak diayak juga memiliki hasil rektivitas paling tinggi yaitu sebesar 1.283 MPa. Hal ini telah sesuai dengan pengerjaan yang telah dilakukan sebelumnya. Sedangkan reaktivitas paling rendah terjadi padamaterial *bottom ash* yang telah diayak lolos saringan no. 200 dan campuran *bottom ash* dan SCBA hasil kalsinasi pada suhu 850° C selama 7 jam yang keduanya sama-sama telah diayak lolos saringan no. 200.

#### 4.9. Koreksi Pengujian Paving dengan Penggunaan Mesin Cetak Paving Otomatis

Hasil penelitian pembuatan paving geopolimer dengan mesin cetak manual dirasa masih kurang sesuai korelasinya dengan penelitian sebelumnya, oleh karenanya dilakukan konfirmasi pembuatan paving dengan *automatic pressing machine*. Hal ini dilakukan karena pembuatan paving dengan mesin cetak manual dirasa kurang maksimal dalam proses kompaksinya.

Pengerjaan dalam *mix design* sama dengan proses sebelumnya akan tetapi material *bottom ash* yang dipergunakan berupa material baru yang bersifat basah dan berwarna hitam. material ini bertekstur lebih halus daripada material sebelumnya dan berdasarkan hasil pengujian reaktivitas diketahui sebesar 0.117 MPa, lebih rendah daripada material *bottom ash* sebelumnya yaitu sebesar 0.125 MPa. Hasil pengujian reaktivitas antara dua *bottom ash* tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.41**.



**Gambar 4.41** Perbandingan material *bottom ash* kering dan basah



Langkah-langkah dalam proses pembuatan paving dengan mesin cetak otomatis yaitu :

- a. Siapkan campuran sesuai variasi lalu aduk secara manual.



**Gambar 4.42** Pengadukan campuran manual

- b. Tuang kedalam mixer mesin untuk diaduk kembali sehingga campuran lebih rata.



**Gambar 4.43** Pengadukan campuran dengan mesin

- c. Campuran dibawa secara otomatis dengan conveyor menuju tempat cetakan.



**Gambar 4.44** Distribusi campuran pada mesin cetak otomatis

- d. Cetak atau pres dengan mesin otomatis.



**Gambar 4.45** a) Mesin cetak paving otomatis b) Paving Hasil cetak dengan mesin otomatis

#### 4.9.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving Cetak dengan Mesin

Hasil dari pengujian kuat tekan paving menggunakan mesin cetak otomatis dapat dilihat pada **Tabel 4.40**

**Tabel 4.40** Hasil Uji Kuat Tekan Paving Cetak Mesin Umur 28 hari

Kode Benda Uji	Perco-baan ke	Berat Benda Uji (kg)	Kuat Tekan (kgf)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
GP0	1	1.90	2400	180	1.36	1.36
	2	2.00	2400	180	1.36	
GP15	1	2.00	3500	180	1.98	1.76
	2	1.90	2700	180	1.53	
GP20	1	2.00	3700	180	2.10	1.73
	2	2.00	2400	180	1.36	

Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa peningkatan nilai kuat tekan terjadi pada komposisi paving dengan replacement SCBA 850° C selama 7 jam sebesar 15% terhadap *bottom ash* basah. dengan demikian hasil penelitian ini telah sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya (Wijaya, 2014) dan beberapa jurnal-jurnal terdahulu tentang penggunaan material SCBA.

Akan tetapi dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan yang terjadi pada umur 28 hari terlampau sangat kecil. Hal ini



disebabkan karena *bottom ash* yang dipergunakan memiliki reaktivitas yang lebih rendah daripada *bottom ash* yang dipakai sebelumnya.

#### **4.9.2. Hasil Pengujian Ketahanan Aus Paving Cetak dengan Mesin**

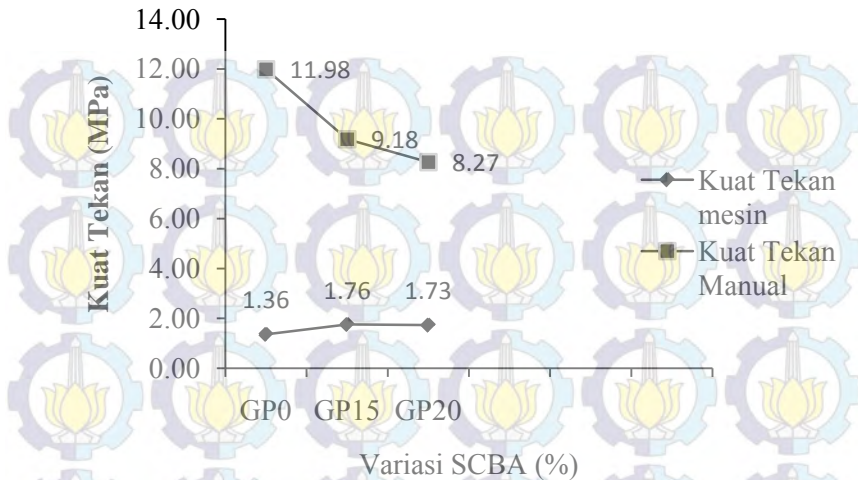
Dari hasil pelaksanaan dilapangan dihasilkan bahwa pengujian ketahanan aus tidak dapat dilakukan terhadap paving geopolimer hasil cetak mesin, hal ini disebabkan nilai kuat tekan yang terlampau rendah sehingga menyebabkan paving bersifat rapuh.

#### **4.9.3. Hasil Pengujian Resapan Air Paving Cetak dengan Mesin**

Demikian halnya dengan pengujian resapan air yang tidak dapat dilakukan terhadap paving geopolimer hasil cetak mesin. Hal ini dikarenakan paving terlalu rapuh sehingga hancur apabila terendam air.

#### **4.9.4. Hubungan Pengujian Kuat Tekan Paving Cetak dengan Mesin Dibandingkan dengan Paving Cetak Manual.**

Dilakukan perbandingan kuat tekan antara paving hasil cetak mesin otomatis dengan paving hasil cetak manual. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.46**.



**Gambar 4.46** Perbandingan Kuat Tekan paving cetak mesin dan paving cetak manual

Dari hasil analisa yang ditunjukkan pada **Gambar 4.46** diketahui bahwa terjadi ketimpangan nilai kuat tekan antara paving hasil cetak mesin dengan paving cetak manual. Hal ini disebabkan karena penggunaan material *bottom ash* yang berbeda dari yang digunakan sebelumnya. *Bottom ash* yang dipakai pada paving dengan cetak mesin otomatis memiliki reaktivitas yang lebih rendah daripada *bottom ash* yang dipakai pada paving yang dicetak manual.

#### 4.9.5. Hasil Pengujian Kadar $\text{SiO}_2$ Reaktif SCBA yang Dikalsinasi pada Suhu $850^\circ$ dalam Waktu 7 Jam.

Dari pengujian kandungan  $\text{SiO}_2$  yang dilakukan terhadap beberapa jenis material, ternyata SCBA yang telah dikalsinasi pada suhu  $850^\circ\text{C}$  selama 7 jam memiliki  $\text{SiO}_2$  reaktif yang paling besar diantara material lain yaitu sebesar 75.2%. Akan tetapi dari pengujian XRF sebelumnya material SCBA ini memiliki kandungan oksida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang rendah yaitu hanya sebesar 3.76%,

sehingga perlu peninjauan ulang untuk penggunaan material SCBA ini, atau perlu di cari alternatif sumber SCBA aktif lain seperti abu sekam dll. Hasil pengujian  $\text{SiO}_2$  tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.41.

**Tabel 4.41** Hasil Pengujian  $\text{SiO}_2$  Material Geopolimer

Material	$\text{SiO}_2$ Total (%)	$\text{SiO}_2$ Bebas (%)	$\text{SiO}_2$ Reaktif (%)
Fly Ash C	35.1	5.73	29.4
Fly Ash F	52.4	18.75	33.7
SCBA 500°C	69.6	6.71	62.9
SCBA 850°C	80.0	4.78	75.2
Lumpur Sidoarjo	53.0	10.29	42.7

#### 4.9.6. Hasil Pengujian TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*)

Pengujian TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) dilakukan untuk mengetahui kandungan ekstraksi logam berat pada limbah *bottom ash* dan *fly ash*. Pengujian ini dilakukan karena *bottom ash* dan *fly ash* termasuk dalam limbah padat bahan berbahaya dan beracun (B3) yang memerlukan pengelolaan khusus. Pengujian TCLP ini dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan ITS. sampel yang digunakan merupakan Sampel dari paving dengan kualitas maksimum pada penelitian ini. Hasil pengujian dijelaskan pada Tabel 4.42.



**Tabel 4.42** Hasil Pengujian TCLP

Material	mg/L	
	Cr	Zn
Fly Ash	0.23	0.29
Botom Ash	0.24	1.25
Paving dengan penambahan SCBA 20% steam	0.36	1.27
Paving dengan penambahan SCBA 20% <i>non steam</i>	0.34	1.28

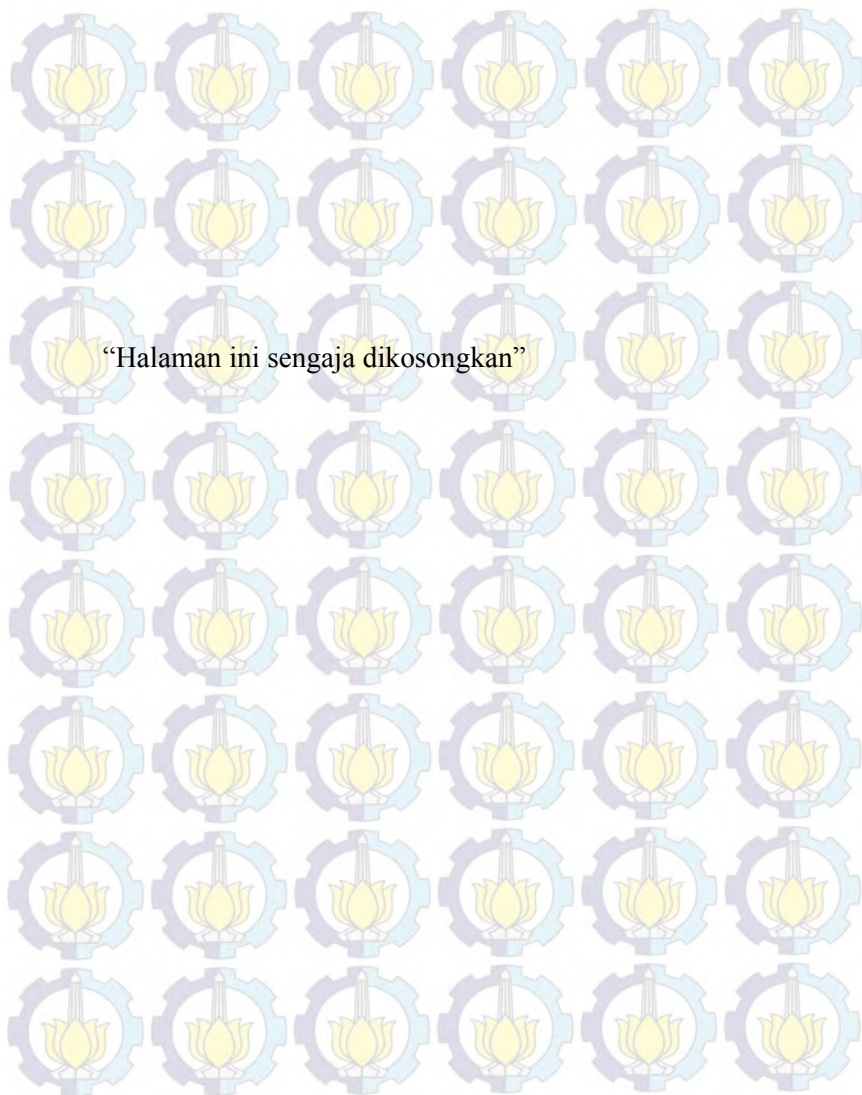
PP. RI No. 85 Tahun 1999, tentang Baku Mutu

Uji TCLP untuk :

Kromium (Cr) = 5 mg/L

Seng (Zn) = 50 mg/L

Dari hasil analisa pengujian TCLP yang ditunjukkan pada **Tabel 4.41** dapat disimpulkan bahwa material paving geopolimer berupa fly ash dan bottom ash yang digunakan memiliki kadar Cr dan Zn dibawah baku mutu yang ditetapkan oleh PP. RI No. 85 tahun 1999, sehingga aman untuk dipergunakan dan ramah terhadap lingkungan.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Dari seluruh rangkaian kegiatan penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan antara lain :

1. Terjadi penurunan berat volume paving geopolimer seiring penambahan berat SCBA pada campuran paving meskipun tidak terlampaui signifikan. Rata-rata berat volume paving geopolimer sebesar  $1868 \text{ kg/m}^3$ , lebih ringan dari analisa perencanaan awal sebesar  $2200 \text{ kg/m}^3$  dikarenakan output dimensi benda uji setelah dilakukan pengepresan adalah  $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$  sedangkan *mix design* awal komposisi paving  $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$ . Pembuatan benda uji tidak bisa dilakukan dengan *mix design* dengan dimensi  $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$  karena tidak bisa ditekan dengan mesin manual.
2. Dari keseluruhan variasi penambahan SCBA pada pembuatan paving geopolimer dengan perbandingan 0%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35% terhadap *bottom ash* diketahui kuat tekan maksimal terdapat pada benda uji dengan perbandingan 0% SCBA pada umur 28 hari yaitu sebesar 10.13 MPa. Sehingga berdasarkan SNI 03 0691 96 tentang bata beton, paving geopolimer dengan variasi SCBA 0% termasuk kedalam mutu paving kelas D, yang diaplikasikan pada taman dan penggunaan lain.
3. Terjadi kecenderungan penurunan kuat tekan seiring dengan penambahan SCBA, baik yang dikalsinasi dengan suhu  $450^\circ \text{C}$  selama 6 jam,  $600^\circ \text{C}$  selama 3 jam, dan  $850^\circ \text{C}$  baik selama 3 atau 7 jam pada paving ataupun mortar geopolimer. Meskipun demikian nilai kuat tekan maksimum diperoleh pada paving dengan suhu kalsinasi SCBA  $600^\circ \text{C}$  selama 3 jam meskipun tidak begitu signifikan perbedaannya.



4. Hasil analisa TGA (*Thermo Gravitymetric Analysis*) tidak bisa dijadikan rujukan dalam pembakaran SCBA untuk memperoleh suhu optimal, karena diperoleh nilai kuat tekan maksimum terdapat pada paving ataupun mortar pembanding dengan penambahan berat SCBA yang dikalsinasi dengan suhu 600°C dalam waktu 3 jam.
5. Hasil pengujian ketahanan aus dapat disimpulkan kecenderungan kenaikan keausan paving seiring dengan penambahan SCBA. Keausan terbesar terjadi pada paving dengan variasi penambahan berat SCBA 35% yaitu rata-rata sebesar 3.123 mm/menit. dengan demikian paving tidak memenuhi persyaratan ketahanan aus sesuai SNI 03 0691 1996. Terjadi deviasi yang cukup besar dikarenakan *curing* dan *storage* paving yang kurang sempurna (terjadi banjir).
6. Hasil Pengujian resapan air paving diperoleh kecenderungan grafik meningkat seiring penambahan variasi SCBA. Pengujian resapan air paving terbesar terjadi pada paving pada penambahan berat SCBA 35%.. dengan demikian paving tidak memenuhi persyaratan resapan air sesuai SNI 03 0691 1996.
7. *Replacement bottom ash* pada paving atau mortar tidak dapat dilakukan menggunakan *fly ash* bertipe C karena terlalu cepat *setting* sehingga sulit dilakukan pengepresan.
8. Diperoleh selisih nilai kuat tekan sekitar 3 kali lipat antara penggunaan material *bottom ash* PT Kasmaji dengan *fly ash* tipe F dari PT Petrokimia pada mortar yang digunakan sebagai komparasi kuat tekan. Pada umur 7 hari diperoleh nilai kuat tekan mortar sebesar 26.33 MPa dengan variasi SCBA 0%. Sedangkan pada umur yang sama diperoleh hasil kuat tekan mortar dengan *bottom ash* sebesar 7.61 MPa.
9. Penambahan SCBA tidak direkomendasikan pada paving geopolimer. Dari keseluruhan hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa penambahan SCBA menurunkan kualitas paving berdasarkan hasil uji mekanisnya. Penggunaan SCBA pada suhu 850°C sebenarnya memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$

reaktif yang besar apabila dibandingkan dengan podzolan lain yaitu sebesar 75.2% dari total kandungan  $\text{SiO}_2$  sebesar 80%, akan tetapi berdasarkan hasil uji XRF pada SCBA ini hanya memiliki kandungan oksida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 3.76% sehingga reaksi geopolimerisasi berlangsung kurang sempurna karena ketidak seimbangan unsur Si dan Al.

10. Sistem pemadatan atau pres paving dengan tenaga manual menyebabkan terjadinya penurunan kualitas karakteristik mekanik berupa kuat tekan, uji keausan, dan daya serap air yang lebih besar pada paving geopolimer dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dengan benda uji berupa mortar, sehingga perlu dipertimbangkan pemadatan paving dengan mesin pres otomatis.
11. Hasil pengujian Mekanis dengan mesin cetak otomatis menghasilkan kualitas yang lebih rendah, hal tersebut dikarenakan penggunaan material *bottom ash* yang berbeda, sebagaimana telah diketahui material *bottom ash* baru yang berwarna hitam dan bertekstur halus memiliki reaktivitas yang lebih rendah dibandingkan *bottom ash* kasar yang berwarna kuning.

## 5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Melakukan karakterisasi ulang suhu bakar SCBA sehingga diperoleh waktu dan suhu bakar yang benar-benar tepat untuk memperoleh silika *amorf*.
2. Mencari sumber silika baru selain abu ampas tebu, misalnya abu sekam padi dengan kandungan unsur Si dan Al berimbang, sehingga proses geopolimerisasi berjalan dengan sempurna.
3. Menggunakan mesin pres semi otomatis dengan material yang sama atau menggunakan *fly ash* tipe F sehingga diharapkan kepadatan lebih tinggi dan meningkatkan kuat tekan.





## LAMPIRAN

### A. Pembuatan Paving dengan Alat Cetak Paving Manual

Dalam praktikum ini dipergunakan alat cetak paving manual. Paving yang dihasilkan dalam sekali pengepresan sebanyak 1 buah berupa balok dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 8 cm.

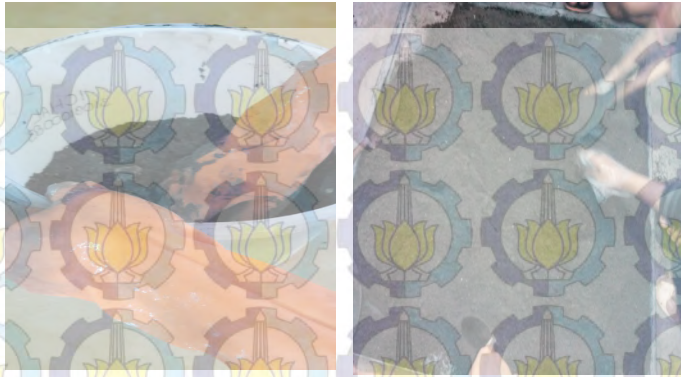
langkah-langkah pengerjaan menggunakan alat cetak paving manual adalah :

1. Siapkan dan timbang bahan-bahan untuk membuat paving geopolimer, antara lain *bottom ash* yang telah di haluskan dengan *bond mill*, SCBA yang telah dikalsinasi pada suhu 850° C selama 7 jam, Abu batu dan larutan alkali sesuai *mix* desain yang telah direncanakan.

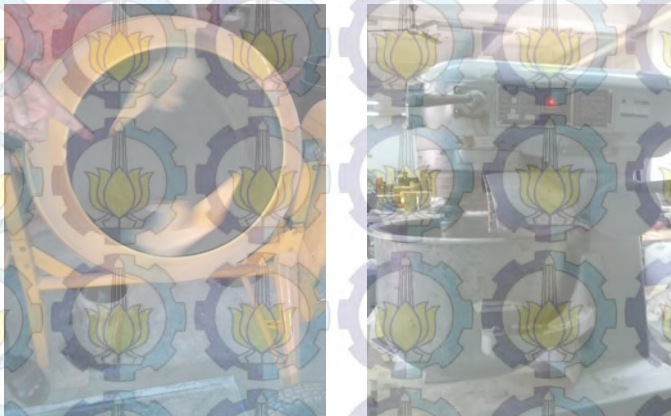


**Gambar A.1** Persiapan Material Paving Geopolimer

2. Campur dan aduk secara merata atau sampai keadaan homogen (adukan bersifat kering atau SSD). Pengadukan dapat dilakukan secara manual (dengan tangan, cangkul atau sekop), dengan *mixer*, atau dapat juga dengan molen.



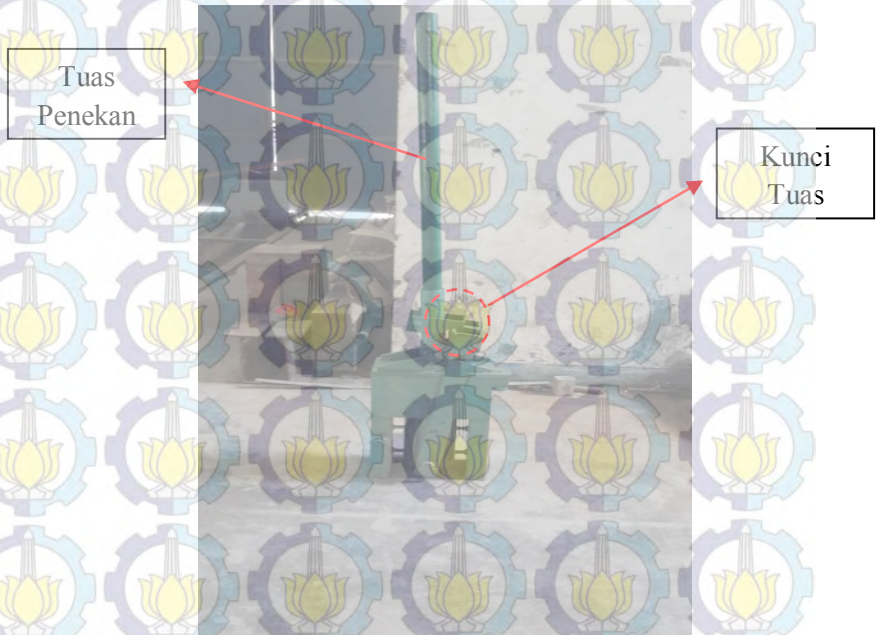
**Gambar A.2** Pengadukan campuran secara manual



**Gambar A.3** Pengadukan campuran dengan molen dan mixer

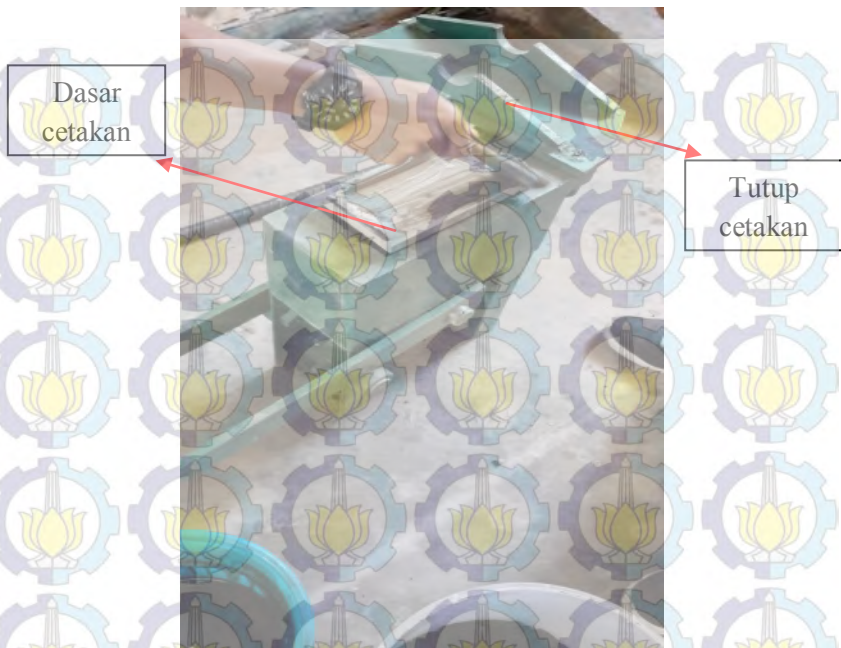
3. Setelah adukan tercampur homogen timbang seberat 3.168 kg untuk tiap 1 buah paving dikarenakan produktivitas alat menghasilkan satu buah paving dalam sekali cetak.

4. Siapkan alat cetak manual, buka kunci tuas lalu geser stang tuas penekan. Buka tutup cetakan alat tersebut, kemudian tekan tuas sampai dasar cetakan terdorong. Beri minyak atau oli pada bagian dalamnya agar benda uji tidak lengket.



**Gambar A.4** Bagian alat cetak paving manual





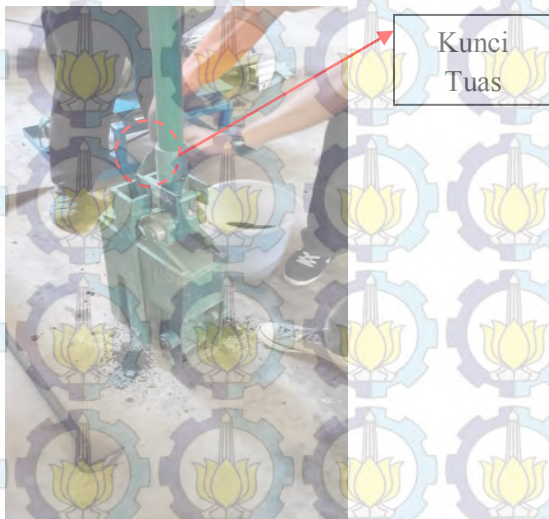
**Gambar A.5** Pelumuran oli pada bagian dalam dan dasar cetakan

5. Dorong kembali tuas penekan agar dasar cetakan masuk kembali. Masukkan campuran paving kedalam cetakan sebanyak 3.168 kg untuk setiap paving secara bertahap. Lakukan perojokan setiap 1/3 bagian dengan tangan atau kayu agar pemadatan sempurna.



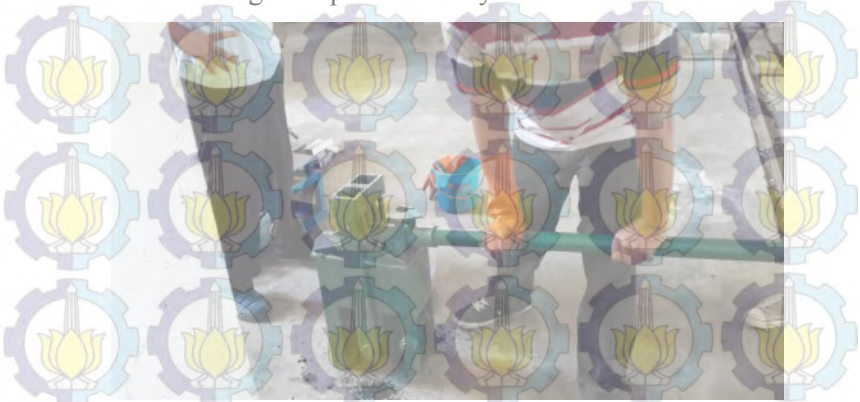
**Gambar A.6** Pengisian campuran Paving ke dalam cetakan

6. Tutup kembali penutup cetakan dan dorong tuas penekan keatas kemudian tutup kunci tuas cetakan.



**Gambar A.6** Tutup kunci cetakan

7. Lakukan pengepresan dengan mendorong tuas cetakan sekuat tenaga sampai tuas menyentuh batas cetakan.



**Gambar A.7** Pengepresan sampai tuas maksimal

8. Setelah pengepresan maksimal dorong kembali tuas untuk membuka cetakan dan mengambil paving hasil cetakan.

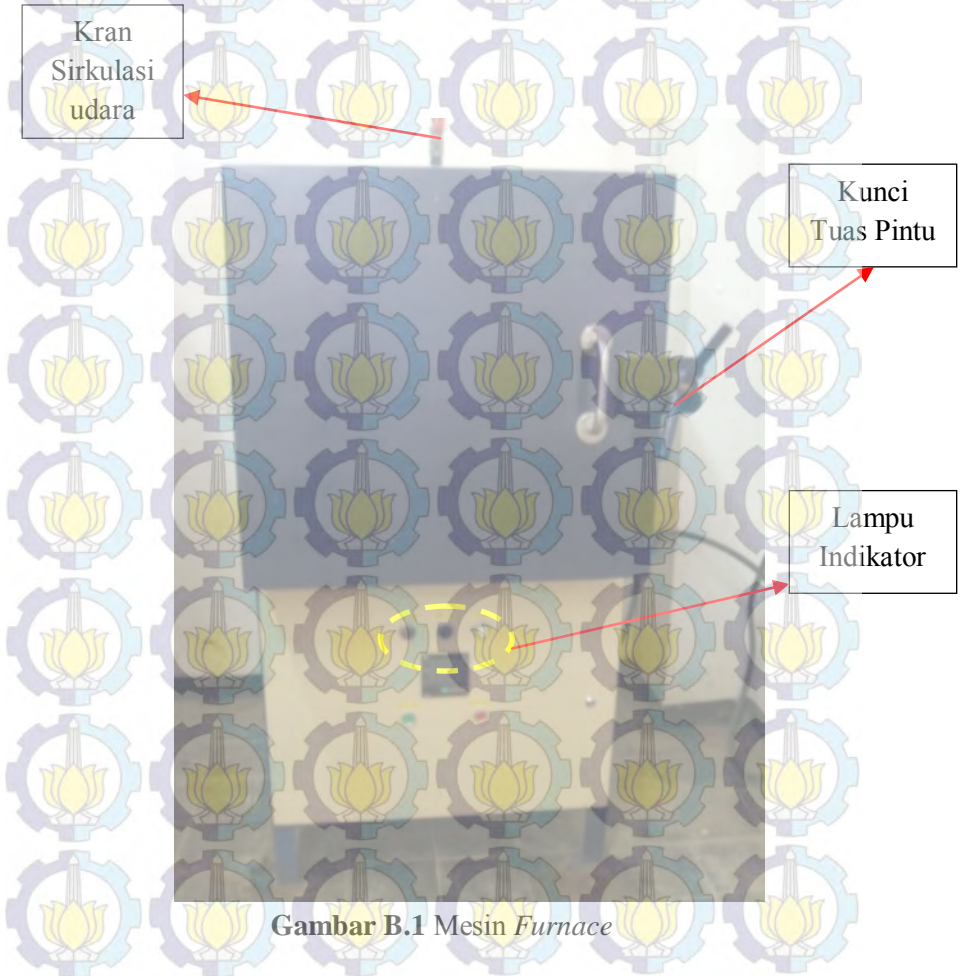


**Gambar A.8** Hasil cetakan paving

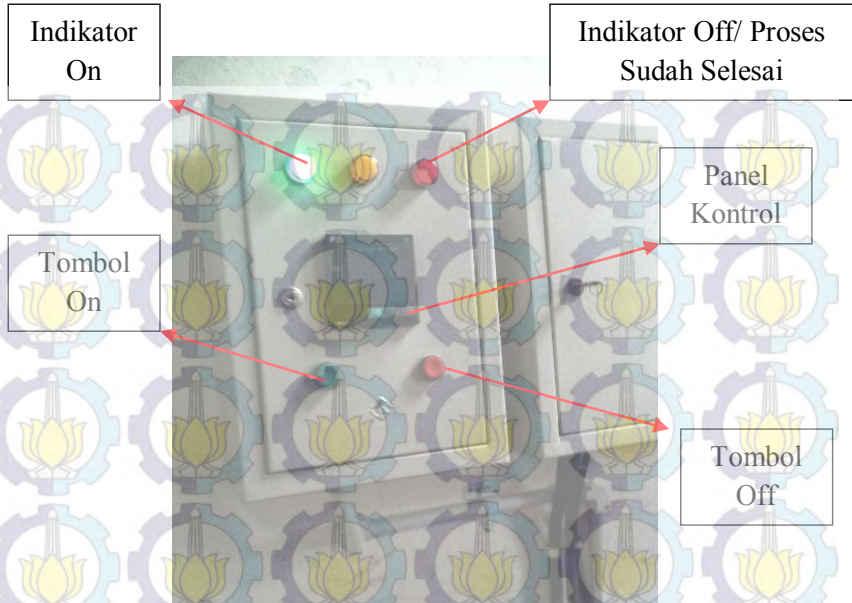


### B. Langkah Kerja Penggunaan Mesin *Furnace*

Mesin *furnace* digunakan untuk kalsinasi SCBA (Sugar Cane Bagasse Ash) atau abu ampas tebu. Pengabuan dilakukan pada suhu  $850^{\circ}\text{C}$  Selama 7 jam.

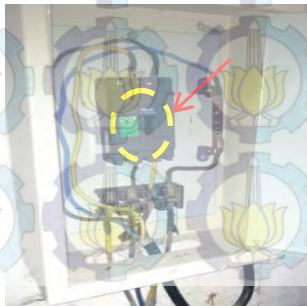


Gambar B.1 Mesin *Furnace*



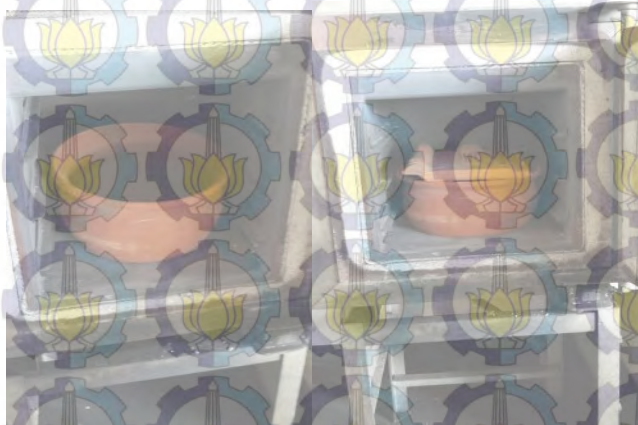
**Gambar B.2** Alat Kontrol Furnace

1. Menyalakan mesin furnace
  - Buka pintu panel *stop contact*
  - Nyalakan mesin dengan mendorong tuas saklar *stop contact* pada mode on.



**Gambar B.3** Sakelar *Stop Contact*

2. Masukkan material SCBA kedalam mesin, SCBA ditempatkan dalam wadah kwali yang terbuat dari tanah liat. Tutup bagian atas kwali dengan genting sehingga percikan api SCBA tidak membakar atau merusak elemen mesin.

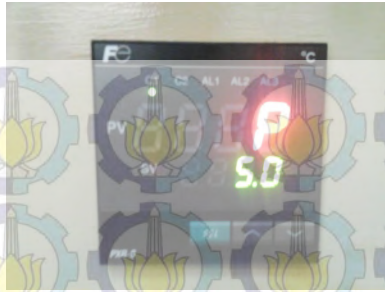


**Gambar B.4** Memasukkan material SCBA






3. Tutup pintu mesin *furnace* dengan rapat lalu kunci tuas pintu dengan memutarnya.
4. Mengatur suhu dan waktu pembakaran  
Suhu pembakaran  $850^{\circ}\text{C}$  konstan selama 7 jam. Sehingga perlu diatur historikal kenaikan suhu dan waktu pada mesin *furnace* dikarenakan suhu pada mesin tidak dapat sting secara langsung akan tetapi meningkat secara bertahap.  
Selain itu historikal waktu dan suhu diperlukan juga untuk perawatan efisiensi mesin.

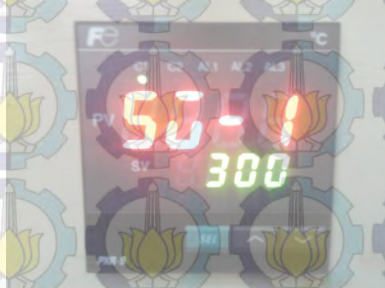











**Gambar B.6** Tulisan **P** pada panel kontrol

- c. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **SO-1** pada panel kontrol
- d. Tekan tombol  kemudian atur suhu dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai suhu yang direncanakan (  $300^{\circ}\text{C}$  )
- e. Tekan tombol 








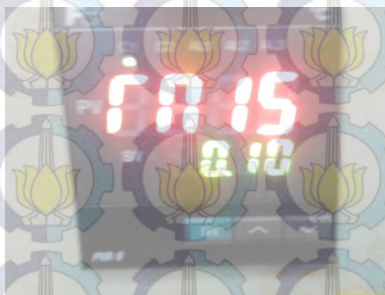
**Gambar B.7** Tulisan **SO-1**

- f. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **rn1r** pada panel kontrol
- g. Tekan tombol  kemudian atur waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai waktu yang direncanakan (30 menit)
- h. Tekan tombol 



**Gambar B.8** Tulisan **rn1r** pada panel kontrol
























- i. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **rn1s** pada panel kontrol
- j. Tekan tombol  kemudian atur waktu yang dibutuhkan untuk menjaga suhu konstan dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai waktu yang direncanakan (35 menit)
- k. Tekan tombol 





**Gambar B.9** Tulisan **rn1s** pada panel kontrol

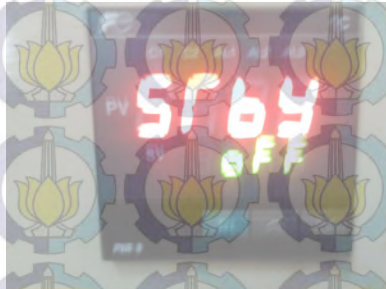
- l. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **SO-2** pada panel kontrol
- m. Tekan tombol  kemudian atur suhu dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai suhu yang direncanakan ( 600<sup>0</sup>C)






- n. Tekan tombol 
- o. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **rn2r** pada panel kontrol
- p. Tekan tombol  kemudian atur waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai waktu yang direncanakan (40 menit)
- q. Tekan tombol 
- r. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **rn2s** pada panel kontrol
- s. Tekan tombol  kemudian atur waktu yang dibutuhkan untuk menjaga suhu konstan dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai waktu yang direncanakan (45 menit)
- t. Tekan tombol 
- u. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **SO-3** pada panel kontrol
- v. Tekan tombol  kemudian atur suhu dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai suhu yang direncanakan ( 850<sup>0</sup>C)
- w. Tekan tombol 
- x. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **rn3r** pada panel kontrol
- y. Tekan tombol  kemudian atur waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu dengan menekan tombol  atau  sampai tercapai waktu yang direncanakan (60 menit)
- z. Tekan tombol 
- aa. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **rn3s** pada panel kontrol
- bb. Tekan tombol  kemudian atur waktu yang dibutuhkan untuk menjaga suhu konstan dengan

menekan tombol  atau  sampai tercapai waktu yang direncanakan (420 menit)

- cc. Tekan tombol 
- dd. Tekan tombol   $\pm$  4 detik sampai muncul tulisan **srby** pada panel control



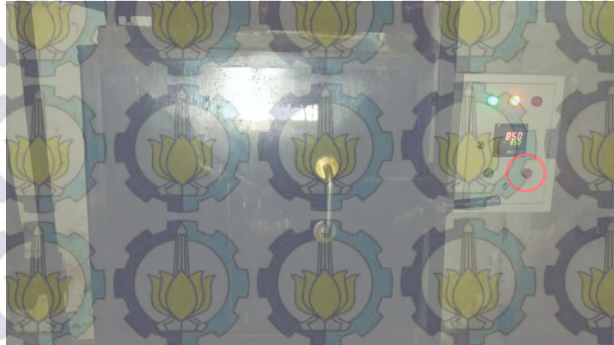
Gambar B.10 Tulisan SRby pada panel kontrol

- ee. Tekan tombol  sampai muncul tulisan **prog** pada panel kontrol
- ff. Tekan tombol  tekan tombol  sampai muncul tulisan **run** pada panel kontrol. Furnace telah beroperasi dan data akan tersimpan. Jika akan menggunakan kembali tanpa merubah waktu dan suhu tinggal mengulang langkah dd-ff.



Gambar B.11 Tulisan ProG run pada panel kontrol

6. Tunggu waktu pembakaran selama 630 menit
7. Setelah waktu pembakaran selesai, tekan tombol *heat off* (warna merah)



**Gambar B.12** Tombol *heat off*

8. Mematikan furnace
  - a. Buka pintu bawah
  - b. Matikan (tekan ke bawah) kedua saklar yang ada di sudut kiri
  - c. Tutup kembali pintu
9. Tunggu proses pendinginan  $\pm 24$  jam sampai suhu di dalam *furnace* sama dengan suhu ruangan lalu ambil material SCBA.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adibroto, Fauna. "Pengaruh Penambahan Berbagai Jenis Serat Pada Kuat Tekan Paving Block", Jurnal Rekayasa Sipil, Volume 10 No.1, Februari 2014, ISSN:1858-2133:1-14.
- Amin, Shofi'ul, Januarti J.E., dan Triwulan.2014.“Potensi Lumpur Sidoarjo Bakar dan Fly Ash pada Pembuatan Mortar Ringan Geopolimer”. **Jurnal Logic** Vol. 14.No. 1. Maret 2014: 54-59.
- Andre. 2012. “Studi Sifat Mekanik Paving Block Terbuat dari Campuran Limbah Adukan Beton dan Serbuk Kerang”. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Anonim, SNI 03 - 0028 - 1987 . “Standar Nasional Indonesia Cara uji ubin semen”. Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim, SNI 03-0691-1996. “Standar Nasional Indonesia Bata Beton (*paving Block*)”. Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim, SNI 03-0815-2002. “Standar Nasional Indonesia Mengevaluasi Uji Kekuatan Beton”. Badan Standardisasi Nasional.
- ASTM C 39-94/ C39 M-05. “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”.
- ASTM C-618. 2003. “Standard Spesification for Pozzolanis Material”. ASTM USA.
- ASTM C 642-97. “Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete”.
- ASTM C 944-9a. “Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method”.
- ASTM C 1693-11. “Standard Specification for Autoclaved Aerated Concrete (AAC)”.
- Bayuseno, A.P., Susilo Adi Widyanto, dan Juwantono. 2010. “Sintesis Semen Geopolimer Berbahan Dasar Abu Vulkanik Dari Erupsi Gunung Merapi”. **Jurnal ROTASI Teknik Mesin UNDIP** Vol. 12. No. 4. Oktober 2010: 10–16.
- BS 6717:5 eprints.undip.ac.id/33912/6/1853\_CHAPTER\_2.pdf

Castadelli, Vinicius dkk "Use of Slag/Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA) Blends in the Production of Alkali-Activated Materials", *Materials* 2013, 6, 3108-3127; doi:10.3390/ma6083108, ISSN 1996-1944 : 3108-3127.

D. Govindarajan and G. Jayalakshmi, "XRD, FTIR and Microstructure Studies of Calcined Sugarcane Bagasse Ash". *Department of Physics, Annamalai University, Annamalai Nagar*. Pelagia Research Library Advances in Applied Science Research, 2011, 2 (3):544-549.

Ekaputri, Januarti Jaya dkk. 2013. "Physico-Chemical Characterization of Fly Ash". **The 2013 World Congress on Advanced in Structural Engineering and Mechanics (ASEM 13)**. Jeju, Korea, September 8-12: 2988-2996.

Ekaputri, Januarti Jaya and Triwulan.2013."Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer". **Jurnal Teknik Sipil** Vol. 20 N o. 1. April 2013. ISSN 0853-2982: 1-10.

Ekaputri, Januarti Jaya, Triwulan, dan Damayanti Oktavina. 2007. "Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton sebagai Material Alternatif". **Jurnal PONDASI** Volume 13. No. 2. Desember 2007. ISSN 0853-814X: 124-133.

Ekaputri, Januarti J. and Maekawa, K., "Time-Dependent Modeling of Boron Leaching from Fly Ash and Adsorption to Solid", *Journal of Basic and Applied Scientific Research* 2(7)2012 pp7393-7403, textroad, ISSN 2090-4304.

Firmansyah, Dedy, "Pemanfaatan Sisa Pembakaran Ampas Tebu Sebagai Bahan Pengisi Dalam Proses Pembuatan Paving Dengan Semen Jenis PCC", *Jurnal Scaffolding Jurusan Teknik Sipil UNNES* 2012 ISSN 2252-682X :8-16.

G.Sivakumar, V.Hariharan and S.Barathan, "Preparation of Bio-cement using sugarcane bagasse ash and its Hydration behavior". *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)* Volume 2, Issue 10, October 2013 ISSN: 2278 – 7798.

- Ghosh, Kushal and Partha Ghosh. 2012. "Effect of % Na<sub>2</sub>O and % SiO<sub>2</sub> on Apperent Porosity And Sorptivity of Flyash Based Geopolymer". **IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)**. ISSN: 2250-3021 Volume 2. Issue 8 (August 2012): 96-101.
- Lisanton, Ade dan John Tri Hatmoko. 2012. "Kuat Tekan Beton *Geopolymer* yang Dibuat dengan Abu Ampas dan Metakaolin". **Jurnal Dinamika TEKNIK SIPIL** Vol. 12 No. 1. Januari 2012: 6 – 10.
- Maulanie, Estutie, Syahrudin Ardiansa, dan Fidyana Ashri. 2010. "Pembuatan *Paving Block* dengan Campuran *Pulverized Fly Ash* dan Pasir Lumajang". **Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah 2010**. ISBN : 978-979-18342-2-3: 1-9.
- Nisita Laksmi, Diah, Mochtar Hadiwidodo, dan Sri Sumiyati. 2010. "Pemanfaatan Limbah *Fly Ash* Sisa Pembakaran Batu Bara dengan Metode Solidifikasi-Stabilisasi sebagai Bahan Campuran *Paving Block Geopolimer*". *Undergraduate thesis*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Nurzal dan Joni Mahmud. 2013. "Pengaruh Komposisi *Fly Ash* Terhadap DayaSerap Air Pada Pembuatan *Paving Block*". **Jurnal Teknik Mesin** Vol.3, No.2, Oktober 2013 : 41-48.
- Pujianto, A. dkk. 2013. "Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Bahan Utama Bubuk Lumpur Lapindo dan Kapur (155M)". **Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7) Universitas Sebelas Maret (UNS) - Surakarta**, 24-26 Oktober 2013:129-136.
- Risdanareni, Puput, Triwulan, Januarti Jaya Ekaputri, "Pengaruh Molaritas Aktifator Alkalin Terhadap Kuat Mekanik Beton Geopolimer Dengan Tras Sebagai Pengisi", Seminar Nasional X – 2014 Teknik Sipil ITS Surabaya Inovasi Struktur dalam Menunjang Konektivitas Pulau di Indonesia, ISBN 978-979-99327-9-2:847-856.
- Risdanareni, Puput, Januarti Jaya Ekaputri, Triwulan, "The Influence of Alkali Activator Concentration to



Mechanical Properties”. *Materials Science Forum Vol. 803 (2015) pp 125-134*

© (2015) *Trans Tech Publications, Switzerland.*

Samadhi, Tjokorde Walmiki dan Pambudi Pajar Pratama. 2013. “Pembuatan Geopolimer dari Metakaolin dan Abu Terbang”. **Jurnal Teknik Kimia Indonesia** Vol. 11, No. 5, 2013:265-274

Soehardjono, Agoes dkk. 2013. “Pengaruh Penggunaan Bottom Ash sebagai Pengganti Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan dan Kemampuan Resapan Air Struktur Paving”. **JURNAL REAYASA SIPIL** Vol. 7, No.1 – 2013 ISSN: 1978 – 5658.

Srinivasan, R. dan K.Sathiya. 2010. “Experimental Study on Bagasse Ash in Concrete”. **International Journal for Service Learning in Engineering**. Vol. 5, No. 2. ISSN 1555-9033 : 60-66.

Sutarno. 2007. “Pemanfaatan Abu Batu Limbah Stone Crusher untuk Bahan Paving Block”. **e-Journal Wahana TEKNIK SIPIL** Vol. 12 No. 3 Desember 2007: 185-19.

Tiwari, M. dkk. 2014. “Elemental characterization of coal, fly ash, and bottomash using an energy dispersive X-ray fluorescence technique”. **Applied Radiation and Isotopes Journal** 90 (2014): 53–57.

Wijaya, Yulia Putri, Jenuarti Jaya Ekaputri, Triwulan. "Paving Geopolimer dari Coal Ash limbah Pabrik", Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW), Surabaya, 18 Juni 2014, ISSN 2301-6752 : 33-42.

Yusnar, Cut. 2013. “Karakteristik Durabilitas Beton Agropolimer Kombinasi dengan Memanfaatkan Limbah Abu Sekam Padi, Abu Ampas Tebu dan Kapur sebagai Bahan Alternatif Pengganti Semen”. **Prosiding SNYUBe 2013**: 159-164.

## BIODATA PENULIS



Achmad Freddy Eka Prasandha, lahir di Kediri pada 13 Januari 1991.

Penulis mengawali pendidikan formalnya di SD Negeri 1 Tuban Gondangrejo, Karanganyar, Jawa Tengah pada (1997-2003). Kemudian melanjutkan studi di SMP Negeri 4 Surakarta (2006-2009) dan selanjutnya di SMA Negeri 1 Surakarta pada (2006-2009). Setelah lulus penulis sempat diterima di beberapa perguruan tinggi seperti UNDIP, UNS dan UGM.

Namun karena ketertarikan menuntut ilmu di kota pelajar penulis memutuskan melanjutkan studinya di D3 Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta pada (2009-2012) kemudian melanjutkan S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret (UNS-Solo) Surakarta. Setelah studi berlangsung selama satu semester penulis memutuskan untuk berhenti dan kemudian melanjutkan studi di S1 Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada (2013-sekarang).

Selain itu, penulis cukup aktif dalam berbagai kegiatan forum diskusi ilmiah, simposium, seminar, konferensi, workshop dll. di tingkat regional maupun nasional, baik dalam bidang teknik maupun non teknik. Selain itu juga cukup aktif dalam kegiatan kemahasiswaan dilingkungan kampus ataupun luar kampus.

